

Teppo Porthén

# KOTITALOUDEN VAIHTOEHTOINEN ENERGIANTUOTANTO

Opinnäytetyö  
Sähkötekniikan koulutusohjelma


Joulukuu 2012




**MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU**

Mikkeli University of Applied Sciences

# KUVAILEHTI

		<b>Opinnäytetyön päivämäärä</b>  23.11.2012
<b>Tekijä(t)</b> Teppo Porthén		<b>Koulutusohjelma ja suuntautuminen</b> Sähkötekniikan koulutusohjelma
<b>Nimeke</b>  Kotitalouden vaihtoehtoinen energiantuotanto		
<b>Tiivistelmä</b>  <p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutustua kotitalouden mahdollisuuksiin tuottaa itse sähköenergiaa omaan käyttöön sekä tutustua myös eri tapoihin, joilla sähköenergiaa voidaan muodostaa. Pyrkimyksenä oli havaita keinoja, sähkön säästeliäämmän käytön lisäksi, joilla kotitalouskuluttaja voi pienentää kustannuksiaan sähkön käytöstä.</p> <p>Opinnäytetyössä käytettiin muun muassa teknillisen korkeakoulun tutkimuksia, asiantuntijayhdistysten materiaalia ja lainsäädäntöä sekä Sähköenergialiiton suosituksia, joiden perusteella koottiin tietoa laitteistoista ja niiden mahdollisuuksista sähköenergian tuottoon.</p> <p>Opinnäytetyössä havaittiin, että kiinnostus sähkön pientuotantoon, varsinkin uusiutuvilla energiamuodoilla on kasvussa, mutta tietoa on silti saatavilla rajoitetusti joiltakin osin. Uusiutuvan energian käyttöä pyritään lisäämään ilmasto- ja energiastrategian mukaisesti vuoteen 2020 mennessä 9,5 prosenttia, mikä tarkoittaa sitä, että tietoa uusista vaihtoehtoista tulee saada kuluttajille tietoa. Kotitalouskäyttäjille suoraan suunnattuja ja markkinoituja sähköntuotantolaitteistoja on saatavilla jopa avaimet käteen -periaatteilla, mutta joiltakin osin tietoa on saatavilla vähän. Lisäksi niitä kehitetään koko ajan vastaamaan tulevaisuuden haasteisiin. Joiltakin osin lupakäytännöt oman pienvoimalan pystyttämiseen ovat vielä jокseenkin monimutkaisia. Suomen sähköjakeluverkot ovat suunniteltu yhdensuuntaiseen siirtoon. Tulevaisuudessa tulee harkintaan muitakin tapoja, joilla voitaisiin pienvoimaloista tuotettuja sähköä jakaa edelleen kulutukseen.</p>		
<b>Asiasanat (avainsanat)</b>  tuulivoima, aurinkoenergia, uusiutuva energianlähde, kotitalous, energian tuotto, polttokenno, biokaasu		
<b>Sivumäärä</b>  42	<b>Kieli</b>  suomi	<b>URN</b>
<b>Huomautus (huomautukset liitteistä)</b>		
<b>Ohjaavan opettajan nimi</b>  Arto Kohvakka		<b>Opinnäytetyön toimeksiantaja</b>

## DESCRIPTION

 <p><b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b> Mikkeli University of Applied Sciences</p>		<b>Date of the bachelor's thesis</b>  23.11.2012
<b>Author(s)</b> Teppo Porthén	<b>Degree programme and option</b> Electrical Engineering	
<b>Name of the bachelor's thesis</b>  Alternative Energy Production in Households		
<b>Abstract</b>  <p>The subject of this thesis was to look into different ways how common household consumer could reduce the cost of electricity by producing own electrical energy. There are different options currently available and some of them are still in development. This was done by using commonly available sources of information about equipment and technologies.</p> <p>The material used consisted of for instance different studies of different finnish Universities of Technology, different expert organization's material and Finnish legislation.</p> <p>During this thesis it was perceived that there is growing interest towards small scale energy production, especially energy production done by renewable energy sources, but there is still somewhat limited amount of knowledge publicly available. There are available equipment by which even household consumer can produce part if not all of its used electrical energy, but technologies available are still under research.</p>		
<b>Subject headings, (keywords)</b>  fuel cell, renewable energy, solar power, biogas, wind energy, household, energy production		
<b>Pages</b> 42	<b>Language</b> finnish	<b>URN</b>
<b>Remarks, notes on appendices</b>		
<b>Tutor</b>  Arto Kohvakka		<b>Bachelor's thesis assigned by</b>

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	1
2	ENERGIAN KULUTUS KOTITALOUDESSA.....	2
3	VARAVOIMAN TUOTTO SUOMESSA.....	4
4	VARAVOIMAVAIHTOEHDOT .....	5
4.1	Polttoainegeneraattori.....	6
4.2	Akustot .....	6
4.3	Luonnolliset generaattorit.....	7
4.3.1	Tuuligeneraattori.....	8
4.3.2	Vesivoima.....	10
4.3.3	Aurinkokennot.....	10
4.4	Polttokennot.....	11
4.5	Biokaasut .....	13
4.6	Puun ja muun poltettavan materiaalin käyttö varavoiman tuotannossa .....	14
4.7	Yhdistetty sähkön- ja lämmöntuotanto .....	14
4.7.1	Polttomoottorit ja kaasuturbiinit .....	16
4.7.2	Höyryvoimalaitokset.....	17
4.7.3	Välittäjäaineisiin liittyvät tekniikat.....	17
4.7.4	Polttokennot pien-CHP laitoksessa.....	17
5	SUOMEN LAKIEN VAATIMUKSET PIENVOIMALAITOSTEN OSALTA..	18
5.1	Sähkölain asettamat pienvoiman vaatimukset .....	18
5.2	Sähköverkkojen suunnittelulle aiheutuvat ongelmat .....	20
5.3	SENERin suosituksia pienvoimalan liittämisestä jakeluverkkoon.....	24
5.4	Suojauksen tyypilliset ongelmatilanteet .....	25
5.4.1	Jälleenkytkennän epäonnistuminen .....	26
5.4.2	Lähdön tarpeeton erottaminen.....	27
5.4.3	Lähdön ylivirtasuojauksen toiminnan estyminen .....	27
5.4.4	Takaisinsyöttö kiskoviassa .....	28
5.4.5	Tahdistamaton jälleenkytkentä.....	29
5.4.6	Jännitejäykkyys .....	29
5.4.7	Keskijännitejohtojen viat .....	30
5.4.8	Pienjänniteverkon viat.....	30
5.5	Arvioita verkostosuunnittelusta hajautetun tuotannon kanssa.....	31

5.6	Hajautetun tuotannon suojaus .....	31
5.6.1	Suojalaitteet .....	33
6	VARAVOIMALAITTEISTOJEN ARVIOINTIA .....	35
7	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	36
8	POHDINTA .....	38
	LÄHTEET .....	40

## 1 JOHDANTO

Työn aihe lähti kehittämään yksinkertaista toteamuksesta: kotitalouden ja varsinkin sähkölämmitteisen kotitalouden sähkölaskut ovat kallistumaan päin.

Tarkastelen työssä kotitalouden vaihtoehtoisia energiantuotantomuotoja käytettävyyden, helppokäyttöisyyden sekä toteutettavuuden näkökulmasta. Pääpaino tarkastelussa on yksityisen omakotitaloasujan mahdollisuuksissa pienentää omaa sähkö- ja lämmitysenergiasta aiheutuvia kustannuksia tuottamalla itse energiaa. Haen vastauksia kysymyksiin: Mitä keinoja on olemassa, minkälaisia vaihtoehtoja on markkinoilla, miten omavaraista tuotantoa voi toteuttaa ja minkälaisilla kerta- ja ylläpitokustannuksilla energiantuotanto katetaan sekä minkälaiset ovat pienenergiantuotannon tulevaisuudennäkymät? Työssä sivutaan myös kotitalouden energiantuotantoa siltä kannalta, voidaanko sähköä myös tuottaa jakeluverkkoon ja mitä hyötyä siitä on saatavissa.

Oletettavaa on kuitenkin se, että sähkön hinta nousee ja pienten kotitalousvoimaloiden tekniikka kehittyy. Myös Suomen hallituksen uudessa pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategian raportissa v. 2008, todetaan, että uusiutuvan energian osuus kasvaa huomattavasti nykyisestään (Valtioneuvoston selonteko 2008, 18). Näin ollen on oletettavaa, että mielenkiinto sähkön pientuotantoa kohtaan jatkaa nousuaan.

Sähkön pientuotannon liittäminen yleiseen jakeluverkkoon on kuitenkin suhteellisen uusi asia. Yleisen sähköverkon kannalta pientuotannon yleiseen sähköverkkoon kytkemiseen liittyy ongelmatilanteita, jotka saattavat olla pientuotannon lisääntyessä aiheuttaa ongelmia sähkönjakeluverkolle.

## 2 ENERGIAN KULUTUS KOTITALOUDESSA

Vuonna 2006 käynnistettiin kotitalouden sähkön kulutusta tutkiva projekti, jota hoiti Adato Energia Oy yhteistyössä Energiateollisuus ry:n ja TTS Tutkimuksen kanssa. Tutkimuksen keskeinen tavoite oli selvittää kotitaloussähkön laiteryhmittäinen käyttö Suomessa. Energian käytön ja tuotannon tehostaminen on jo pitkään ollut merkittävä osa Suomen energia- ja ympäristöpolitiikkaa. Energiansäästö on kustannustehokas keino vähentää kasvihuonepäästöjä ja siihen pyritään edistämällä ja seuraamalla laitteiden energiatehokkuutta. Laitteiden teknisten ominaisuuksien lisäksi laitteiden käyttötavat ja laitteiden määrät vaikuttavat sähkön kulutukseen. Kotitalouksien sähkönkulutuksen kehityksen arvioimiseksi ja säästötavoitteiden seurantaan tarvitaan tietoa myös käyttötapojen kehityksestä ja toteutuneesta käytöstä. Saatuja tuloksia verrattiin vastaavaan tutkimuksen vuotta 1993 koskeviin lukuihin. (Kotitalouksien sähkönkäyttöraportti 2006, 5.)

Lämmitys vastaa noin puolta asuinrakennuksen energiankulutuksesta. Kodin energiankulutuksesta kolmannes kuluu sähkölaitteisiin ja valaistukseen. Kotitaloussähkön käyttö kuitenkin riippuu niin asumismuodosta kuin kotitalouden koosta. Myös käyttötottumukset vaikuttavat paljon sähkönkulutukseen. Energiankulutukseltaan kolme suurinta laiteryhmiä kotitaloudessa, poislukien lämmitys, ovat

- valaistus
- kodin kylmälaitteet
- kodin elektroniikka.

Valaistuksen osuus oli vuonna 2006 Kotitalouksien sähkönkäyttö 2006 -tutkimuksen mukaan runsaat 20 % kodin sähkönkulutuksesta. Valaistuksen osuus on säilynyt vuoden 1993 verrattuna hyvin samansuuruisena. Uusien energiatehokkaiden mallien ansiosta kylmälaitteiden kulutusosuus on sen sijaan pienentynyt aiempaan verrattuna selvästi. Kylmälaitteiden osuus on nykyään noin 13 % kodin sähkönkulutuksesta, kun osuus vuonna 1993 oli vielä noin 30 %. (Kotitalouksien sähkönkäyttöraportti 2006, 15.)

Kodin elektroniikkaan kuuluvien viihde- ja tietotekniikkalaitteiden yhteenlaskettu kulutus on vastaavasti kasvanut viime vuosina ja noussut lähes kylmälaitteiden tasolle.

Niiden yhteenlaskettu osuus kulutuksesta oli vuonna 2006 noin 12 %, josta tietotekniikan osuus oli 4 %. (Kotitalouksien sähkökäyttöraportti 2006, 15.)

Kerros- ja rivitaloissa kodin elektroniikan aiheuttama kulutuksen kasvu vastaa kylmälaitteiden ja mahdollisesti myös valaistuksen tehostumisen tuomaa säästöä. Asuntokohtainen kulutus on pysynyt lähes ennallaan. Uusissa kerrostaloissa keskekulutus on noussut huoneistokohtaisen ilmanvaihdon yleistymisen myötä. Eniten kotitaloussähkön kulutus on kasvanut omakotitaloissa. Kulutuksen kasvu ei ole puhdasta laitesähköä, vaan taustalla vaikuttaa myös koneellisen ilmanvaihdon, lattialämmityksen ja sekalämmitysjärjestelmien yleistyminen. (Kotitalouksien sähkökäyttöraportti 2006, 16.)

Kun sähkölämmitysluonteinen kulutus vähennetään muusta kulutuksesta, on esimerkiksi luonteinen laitteiden keskimääräinen sähkökulutus omakotitalossa (120 m<sup>2</sup>, 4 asukasta) noin 7 000 kWh vuodessa. Isommassa, korkean varustelutason pientalossa (180 m<sup>2</sup>, 4 asukasta) voi vuosikulutus nousta 10 000 kWh:iin. Vastaavasti normaalin varustetason kerrostaloasunnossa (75 m<sup>2</sup>, 3 asukasta) sähköä kuluu vuosittain noin 2 550 kWh. (Kotitalouksien sähkökäyttöraportti 2006, 22 - 24.)

Tilastokeskuksen kulutustutkimuksen mukaan koosta riippumatta kotitaloudet kuluttivat vuonna 1990 edelleen suurimman osan energiastaan asumisen kautta, toiseksi suurin ryhmä oli liikkuminen. Kahden hengen kotitalouksien ja yksin asuvien energian kokonaiskulutus on kasvanut voimakkaasti 1980-luvulla. Vuonna 1990 ne kuluttivat jo puolet kotitalouksien kaikesta välillisestä ja välittömästä energiakertymästä. (Nurmele 1996, 87)

Asumisen energiakulutus raportin mukaan yli 80 prosenttia kului lämmitykseen vuosien 2008 - 2011 aikana. Tilastokeskuksen mukaan asumisen energiakulutus oli 61 884 gigawattituntia (GWh) vuonna 2011. Kulutuksesta 84 prosenttia kohdistui asuinrakennusten lämmitykseen ja 16 prosenttia kotitalouslaitteisiin. (Tilastokeskus 2012.)

Asuinrakennusten lämmityksen yleisin energialähde vuosina 2008-2011 oli kaukolämpö. Seuraavaksi eniten kulutettiin puuta ja sähköä. Näiden kolmen energialähteen osuus oli yli 80 prosenttia asuinrakennusten lämmitysenergian kulutuksesta. Kauko-



lämpöä kulutettiin asuinrakennusten lämmitykseen 17 313 gigawattituntia (GWh) vuonna 2011.

Kodin lämmitykseen kuluvan energian osuus riippuu kotitalouden lämmitysmuodosta. Vertailupohjana tässä työssä käytetään omakotitaloa, jossa on 2-aikatariffi sekä varaa-va sähköinen lattialämmitys.

### **3 VARAVOIMAN TUOTTO SUOMESSA**

Suomessa varavoimaa käytetään lähinnä vain teollisuuslaitoksissa ja sairaaloissa. Niissä käytettävät ratkaisut eivät kuitenkaan ole sellaisenaan soveltamiskelpoisia kotitalouksiin, koska niissä on ajateltu kriittisten järjestelmien suojausta ja katkotonta käyttöä.

Kotitalouksissa varavoiman tarpeeseen on havahduttu vasta viimevuosien myrskyjen ja talvien aiheuttamien pitkien sähkökatkosten myötä. Pitkät sähkökatkot ovat useimmin sijoittuneet maaseudulle, mutta on vain ajan kysymys, milloin taajamissa ja omakotialueilla alkaa olemaan vastaavanlaisia ongelmia. Maaseudulla monilla maatiloilla on ollut käytössä varavoimageneraattoreita, koska karjantalouden olosuhteet on täytynyt turvata mahdollisten sähkökatkosten ajaksi. Lähialueilla olevilla mökeillä ja normaaliasumuksilla ei kuitenkaan ole ollut sellaiseen tarvetta. (Karppinen 2011, 7.)

Sähkö- ja talotekniikan kortistojen ns. ST-kortistojen tekijöiden ja energiamarkkinaviraston taholta on huomioitu kiinnostus vaihtoehtoisen energian tuottamiseen, koska on alettu tutkia, kuinka sähköverkot ja niissä huoltotöitä tekevät ihmiset saadaan suojattua kotitalouksiin kytketyiltä vaihtoehtoisilta energian tuottamisen muodoilta. Suurin ongelma lienee syntyneen niin sanotun takajännitteen torjumisesta. Jos verkkoa ei ole suojattu tällaiselta mahdollisuudelta, voi mikä tahansa pienvoimalaitos tai varavoimaa hyödyntävä kotitalous syöttää katkennutta verkkoa. Materiaalia ja tutkittua tietoa on vielä vähän, etenkin kotitalouden varavoimasta, saatavilla. Varavoimavaihtoehtoja ei myöskään markkinoida aktiivisesti haja-asutusalueilla ja taajaman ulkopuolella asuville, vaikka heillä on huomattavasti suurempi riski kärsiä pitkästä sähkökatkosta kuin kaupungeissa tai niiden välittömässä läheisyydessä asuvilla, jotka on yleensä liitetty

rengasverkkoon. Laitteiden maahantuonnissa, rakennuksessa ja myynissä keskitytään eniten maatalouteen ja rakennusteollisuuteen. (Karppinen 2011, 6-7.)

Suomen pelastusalan keskusjärjestön mukaan kotitalouksien kannattaa varautua eri pituisiin sähkökatkoksiin vaihtoehtoisella lämmitysmenetelmällä ja kynttilöin. Vaihtoehtoinen lämmitys voidaan toteuttaa takan tai muun tulipesän avulla. Varavoima on yksi vaihtoehto lämmityksen ja valaisun hoitoon. Sitä voidaan käyttää myös hetkellisenä lisäyksenä normaalitilanteisiin. (Suomen pelastusalan keskusliitto 2012.) Myös Puolustusministeriön julkaisussa Pahasti poikki pyritään antamaan toimintaohjeita kotitalouksille pitkän sähkökatkon ajaksi. Ohjeet ovat käytännönläheisiä kuten yhden valaisimen voi jättää päälle, jolloin voi huomata milloin sähköt palaavat tai vastaavasti päälle jäänyt pesukone tulee sammuttaa. (Puolustusministeriö 2008).

#### **4 VARAVOIMAVAIHTOEHDOT**

Suomen vuodenaikojen vaihtelut pitäisi ottaa huomioon varsinkin uudisrakennuksissa, jotka rakennetaan taajama-alueen ulkopuolelle tai muuten kaupungista selvästi erilleen. Tällaisiin kohteisiin olisi hyvä suunnitella jonkinasteinen varavoimajärjestelmä. Järjestelmä voisi olla yksinkertainen ilman sähköä käynnistettävä varavoimakone tai omaa energiantuotantoa esimerkiksi tuulivoiman muodossa. Kun hyödynnetään ekologista sähköntuotantoa, saadaan varavoimasta koituvia kustannuksia pienennyttyä huomattavastikin, jos kiinteistö ja sen sähköjärjestelmät ovat myös ekologiselta kannalta hyvin suunniteltuja. Uudisrakennuksiin on myös helpompi saada yhdistettyä monen tasoisia varavoimajärjestelmiä, koska ne saadaan integroitua kiinteistöön jo suunnittelu- ja rakennusvaiheissa.

Varavoimajärjestelmä koostuvat yleisemmin seuraavista osista: mahdollisesta akustosta, muuntajista, kojeistosta, kaapeleista ja tarvittavista ohjaus- ja suojauslaitteistoista. Järjestelmä pyritään pitämään mahdollisimman yksinkertaisena luotettavuuden edistämiseksi. (Leppänen 2008, 4.)

## 4.1 Polttoainegeneraattori

Polttoainegeneraattoreita on pääasiassa kolmea eri tyyppiä, bensiini- tai dieselmääräiset mallit sekä traktorigeneraattorit. Bensiini- tai dieselmääräiset mallit ovat toimivimpia ratkaisuja kotitalouksissa, koska yleensä ainoastaan maataloilla on traktori käytössä. Ne ovat osoittautuneet myös hyvin kestäviksi ja toimiviksi järjestelmiksi. (Karppinen 2011, 8; Leppänen 2008, 4.) Moottorigeneraattoriin kuuluu moottorin lisäksi tahtigeneraattori ja erilaisia valvonta- ja suojauslaitteita. Tahtigeneraattorin akseli kytketään suoraan moottorin kampiakseliin, jolloin ei tarvita yhdistävää vaihteistoa.

## 4.2 Akustot

Akustoissa tärkeimpänä seikkana sähkönsyötön kannalta on, että niillä pystytään takaamaan katkeamaton virransyöttö laitteistoille, joille ei saa tulla hetkenkään sähkökatkoa. Akkuja varataan tasasuuntaajan avulla muunnetulla jännitteellä ja syötetään akuilta vaihtosuuntaajan kautta kulutuslaitteille. Akustolla pystytään myös tasoittamaan virran vikatilanteen ja normaalitilanteeseen siirtymisen aiheuttamat virta- ja jännitepiikit, jolloin ne toimivat myös suojalaitteina monille herkille laitteille. Virta- ja jännitepiikkien tasoitus onnistuu, jos sähkönsyöttö kulkee akuston kautta, eli akusto on ns. on-line -syötöllä. Leppäsen (2008, 8) mukaan akustotyyppejä on neljää erilaista päätyyppiä:

- Off-line -akustotekniikassa akusto pidetään varauksessa, mutta normaalitilanteessa vaihtosuuntaaja ei syötä tehoa suojattaville laitteille, vaan lähtee toimimaan, kun verkkojännite poikkeaa asetelluista toleransseista. Tällöin kytketään tulee 2-10 ms viive.
- Line -tekniikassa akustoja pidetään normaalin syöttöjännitteen kanssa rinnan, mutta vaihtosuuntaaja ei muodosta jännitettä, vaan lähtee toimimaan kun verkon jännite muuttuu. Tällöin ei tule kytkentäviivettä, mutta verkkojännitteen suodattaminen on kuitenkin puutteellista.
- Kaksimuunnostekniikan on-line -syöttö toimii siten, että syöttöteho kulkee akuston kautta ja akusto pidetään koko ajan puskurivarauksessa. Akusto on koko ajan valmiudessa syöttää tehoa kuormalle. Elektroninen ohituskytkin muuttaa syötön verkkojännitteelle akuston ylikuormitus- tai vikatilanteissa. Etuja tällä tekniikalla on verkkojännitteen suodatus ja lähtöjännitteen täydelli-

nen ohjaus, mutta haittapuolena tämä tekniikka muodostaa yliaaltoja syöttävään verkkoon.

- Yksimuunnostekniikan on-line UPS pystyy siirtämään pätötehoa kumpaan suuntaan tahansa. Tämä saadaan aikaan hyödyntämällä tehotransistorisiltaa. Pätöteholla varataan tai tarvittaessa puretaan akustoa ja loisteholla ohjataan PWM -tekniikalla muodostettua lähtöjännitettä. Tämä tarkoittaa sitä, että pätötehoa ei tarvitse tarpeettomasti tasasuunnata. Kytkenän etuja ovat hyvä hyötysuhde ja sinimuotoinen tulovirta eli yksimuunnostekniikka ei aiheuta yliaaltoja tuloverkkoon. Myös kuormitusvirran yliaallot suodattuvat pois ja säröytyneen epälineaarisen kuorman syöttökyky on hyvä. (Leppänen 2008, 8.)

Akkujen huonoin ominaisuus on se, etteivät ne itse pysty tuottamaan energiaa, vaan niitä on ladattava. Jatkuvasta latauksesta syntyy myös toinen ongelma eli akkujen säännöllinen purku. Nykyään käytössä olevat erityisesti varavoimaan tarkoitetut akut vaativat aika ajoin purkautumista, jotta niiden käyttöikä pysyisi mahdollisimman pitkänä. Yleensä näissä järjestelmissä lataus ja purku on automatisoitu. Akustot olisi hyvä rakentaa varmennetuksi järjestelmäksi, jolloin toinen akusto olisi täydessä latauksessa aina silloin, kun toinen on purkujaksossa. Tällä varmistetaan katkeamaton sähkönsyöttö kriittisimmissäkin käytöissä. Erityisesti online-syötössä olevan akuston käyttö voi osoittautua hyödylliseksi, koska pieniä sähkökatkoksia tapahtuu usein. Tällaisesta järjestelmästä ei koituisi kohtuuttoman suuria lisäyksiä sähkölaskuun, koska uusimpien akustojen hyötysuhde on noin 99 % luokkaa. (Karppinen 2011, 9 -10.)

### 4.3 Luonnolliset generaattorit

Tuulivoimalla tarkoitetaan tuulen eli ilman virtauksen muuntamista tuuliturbiineilla sähköksi. Tuulivoima on uusiutuvaa energiaa. Nykyään tuulivoimaloita pyörittävät lavat, joiden avulla liike-energia muutetaan sähkövirraksi. Aikaisemmin vanhemmat puiset tuulimyllyt toimivat samalla mekanismilla ja tuulen liike-energiaa käytettiin esimerkiksi jyvien jauhamiseksi tai veden pumppaamiseksi maasta. Tuulivoima on yksi hyvä vaihtoehto tuottaa itse lisää energiaa kotitalouteen. (Suomen tuulivoimayhdistys 2012.)

Monet valmistajat tarjoavat valmispaketteja, joihin kuuluu voimalan pystytys ja sähkötyöt taloon liittämistä. Tuulivoiman suurimpana heikkoutena on tuuliolot, jotka eri osissa maata ovat hyvinkin erilaiset. Etenkin merialueiden läheisyydessä, rannikoilla ja tuntureilla talvikuukaudet ovat tuulisempia kuin kesäkuukaudet. Loka – maaliskuun aikana on tuotettu keskimäärin 60 % vuosittain tuotetusta tuulisähköstä. (Suomen tuulivoimayhdistys 2012.)

Aurinkovoima on toinen yleistävistä energian tuotantomuodoista kotitalouksissa. Aurinkopaneelien koko ajan halventuva hinta ja niiden suhteellisen vähän maisemallista haittaava olomuoto toimivat kannustimena aurinkopaneelien hankintaan. Kesäisin niistä voidaan saadaakin suuri hyöty, jos ne on sijoitettu optimaalisesti tai parhaimmassa tapauksessa motorisoitu niin, että ne seuraavat aurinkoa koko kierron ajan. Talvisin aurinkovoimasta ei kuitenkaan voida olettaa olevan nimeksikään hyötyä kaamoksen ja lumimäärien takia. Kaamos lyhentää valoisan ajan todella lyhyeksi, jolloin aurinkopaneeleista ei saada paljoakaan tehoa irti koko päivän aikana ja lumi voi estää paneelien toiminnan kokonaan olemalla niiden päällä. Lumen takia paneeleita saisi olla koko ajan puhdistamassa lumesta, jotta saisi pienenkään määrän valon energiasta käyttöön. (Karppinen 2011, 10 - 12.)

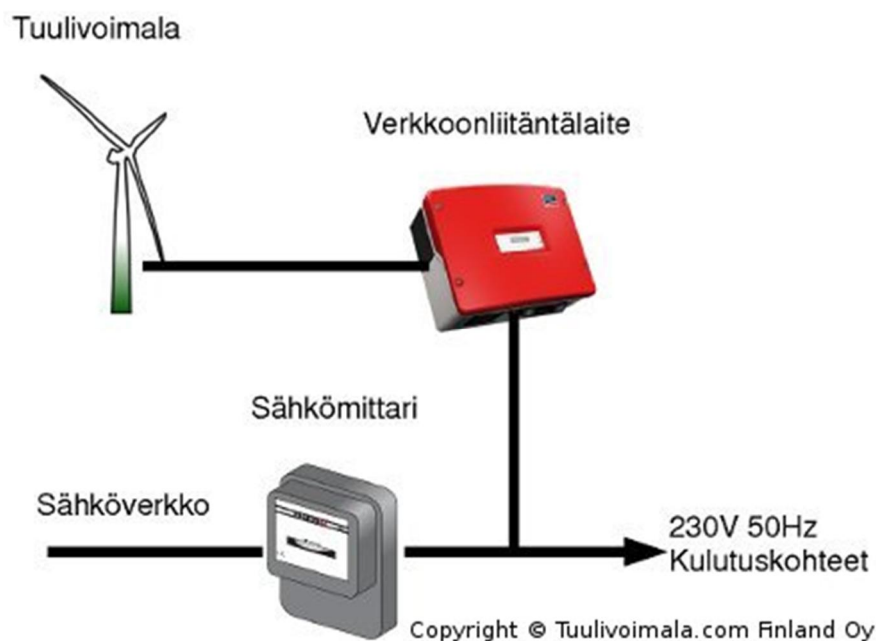
#### **4.3.1 Tuuligeneraattori**

Tuulivoimala muuttaa tuulella olevan liike-energian mekaaniseksi pyörimisliikkeeksi ja siitä edelleen sähköksi. Yleisimmin tuulta kerätään roottorin avulla, jossa on kaksi tai kolme aerodynaamisesti muotoiltua lapaa. Kotitalouskäytöissä lapojenhalkaisija on noin neljä metriä ja vastaavasti kesämökille asennettavien laitteiden lapojen halkaisijat ovat noin kaksimetrisiä. (Suomen tuulivoimayhdistys 2012.) Ilman virtauslavan ympäristössä saa aikaan nostevoiman, joka pyörittää roottoria. Kun tuulen nopeus laskee kolmasosaan tuulen kulkiessa siipiprofiilin ohi, saadaan maksimaalinen teho. Roottori pystyy teoriassa hyödyntämään tuulen liike-energiasta n. 60 %, mutta todellisuudessa hyötysuhde jää 50 %:iin. (Veijalainen 2008, 7.)

Voimalan tuottaman tehon riippuvuus tuulen nopeudesta ei ole suoraviivainen, vaan tehon tuoton näkee kyseessä olevan voimalan tehokäyrästä. Voimalaa valittaessa tulee arvioida tehontarvetta ja paikallisia tuuliolosuhteita. Tyypillisesti tuulivoimalla lada-

taan akustoja, joista sähkö otetaan käyttöön tasajännitteisenä tai muutetaan vaihtosuuntaajalla 230 V vaihtosähköksi. Pientalon lämmityksessä tuulivoimala voi olla myös kytketty suoraan sähkölämmitykseen tai vesivaraajaan ohjausjärjestelmän kautta. Pientuulivoimaloita on olemassa useita erilaisia malleja eri teholuokissa. Tuulivoimala on aurinkoenergiaan verrattuna Suomen leveysasteilla ylivoimainen, koska tuulivoimalasta saadaan energiaa kaikkina vuodenaikoina, talvella eniten. (Lehto 2009, 7; Tuuliatlas 2009.)

Alle 2 kW generaattorilla varustettuja laitteistoja käytetään yleensä akustojen lataamiseen ja pienimuotoiseen sähköntuotantoon. Yli 2 kW:n tuulivoimaloita voi käyttää suoraan verkkosähkön tuottamiseen, jolloin tuulivoimala tuottaa osan verkosta ostetusta sähköstä hyödyntäen tuulienergiaa (kuva 1).



**KUVA 1. Mallikuva tuulivoimalan kytkemisestä pientaloon (Tuulivoimala 2012)**

Verkkosähkön tuotanto tapahtuu sähköverkkoinvertterin avulla. Sähköverkkoinvertteri muuntaa tuulivoimalan tuottaman sähköön samaksi kaksi- tai kolmivaihevirraksi, mitä sähköyhtiö syöttää sähköverkossa. Sähkö otetaan ensisijaisesti tuulivoimalasta. Ainoastaan tuulivoimalan tuoton yli menevä sähkönkulutus otetaan sähköverkosta alentaen sähkölaskua. Optimaalisinta on mitoittaa tuulivoimalan koko alle tai lähelle omaa sähköön vuosikulutusta, näin varmistetaan sähköön tuotto kustannustehokkaimmin omaan käyttöön. (Tuulivoimala 2012.)

### 4.3.2 Vesivoima

Vesivoima on päästötön ja uusiutuva energiamuoto. Vuonna 2010 vesivoima oli toiseksi käytetyin uusiutuvan energian tuotannosta. (Motiva 2012.) Vesivoimalan perusrakenteeseen vaikuttavat käytettävä turbiinityyppi ja maasto-olosuhteet. Lajittelua erikokoisiin voimalaitosluokkiin voidaan tehdä tuotantotehon mukaan. Suurvesivoimalaitokseksi kutsutaan laitosta, jonka nimelliteho yli 10 MW, pienvesivoimalaitokseksi 1–10 MW:n kokoista laitosta, minivoimalaitokseksi alle 1 MW:n laitosta ja mikrovoimalaitokseksi alle 100 kW:n laitosta. Yleisesti näille kaikille pienemmille voimalaitoksille käytetään nimitystä pienvoimalaitos. (Kinttula 2008, 3; Motiva 2012.)

Vesivoimalan toiminta kulminoituu voimalan ylä- ja ala-altaan väliseen korkeuseroon. Putouskorkeus vaihtelee 2–6 metriä. Vesi virtaa ylävesialtaasta turbiinin läpi luovuttaen osan potentiaalienergiastaan turbiinille, osan lämmöksi ja tämän jälkeen poistuen alavirtaan. Turbiinin pyörimisliike pyörittää samalla akselilla olevaa generaattoria. Liike-energia muutetaan sähköksi generaattoreissa. (Motiva 2012.) Vesiputous voi olla luonnollinen luonnon osa tai patojen ja vesiesteiden avulla muodostettu. Padoissa on välppä, jonka tehtävänä on erottaa vedestä karkeat ja suurikokoiset roskat. Välppän läpi mennessään vesi pääsee tulokammioon tai -putkeen, josta se ohjataan johdesiipien avulla turbiinille. Kammiossa veden virtausnopeus tasoitetaan turbiinille sopivaksi. (Kinttula 2008, 3-4.)

### 4.3.3 Aurinkokennot

Aurinkokenno on puolijohdekomponentti, mikä tuottaa tasasähköä. Aurinkokenno muuntaa auringon säteilyenergian suoraan sähköenergiaksi. Aurinkokenno laite toimii äänettömästi ja saasteettomasti. Se voidaan sijoittaa osaksi rakennuksen seinää tai kattoon, minkä vuoksi sen käyttäminen ei aiheuta ympäristöllisiä eikä esteettisiä haittoja. Aurinkokenno on laitteena kestävä, luotettava ja lähes huoltovapaa, eikä se sisällä liikkuvia osia. energian varastoitumiseen käytetään akkua. (Lehto 2009, 6; Kontturi 2010, 5.)

Suosituimpia laitteistoja ovat moni- ja yksikiteisestä piistä valmistetut aurinkokennot. Näiden aurinkokennojen etuna on kohtalaisen korkea hyötysuhde. Näiden ensimmäisen sukupolven kiteisten piikennojen valmistus vaatii kuitenkin runsaasti materiaalia ja energiaa, jonka johdosta niiden hinta on edelleen korkea. (Kontturi 2010, 5.)

Nykyisin aurinkokennoja valmistetaan ohutkalvotekniikalla, mikä vähentää materiaalityöväkettä ja valmistuskustannuksia. Näitä kutsutaan toisen sukupolven aurinkokennoiksi ja ne valmistetaan useista eri materiaaleista. Yleisesti markkinoilla on amorfista piitä hyödyntävät kennot. Nämä kennot eivät kuitenkaan ole yltäneet ensimmäisen sukupolven kennojen tasolle. Lisäksi amorfisesta piistä valmistettujen kennojen ominaisuuksien on havaittu heikkenevän jo muutaman kuukauden käytön jälkeen. Toisen sukupolven aurinkokennojen tuotanto on lisääntynyt, mutta ne eivät ole vielä onnistuneet saavuttamaan markkinoiden suosituinta asemaa. (Kontturi 2010, 5.)

Nykyisin aurinkokennojen tutkimus keskittyy nanotekniikkaan perustuviin kolmannen sukupolven aurinkokennoihin. Näillä pyritään toisen sukupolven kennoja edullisempaan hintaan ja ensimmäisen sukupolven kennoja korkeampaan hyötysuhteeseen. (Kontturi 2010, 5.)

Aurinkoteknillisen yhdistyksen mukaan aurinkovoimalan tuotanto olisi optimisuuntauksella 900-1000 kWh yhden kW paneelitehoa kohden vuodessa. Asuinkiinteistöön liitetyn laitteen koko on huipputeholtaan 1-2 kW. (Lehto 2009, 6.)

#### **4.4 Polttokennot**

Polttokenno on elektrokemiallinen laite, jotka muuttavat polttoaineeseen varastoitunutta kemiallista energiaa suoraan sähköenergiaksi. Polttokennot seuraavat kuormituksen muutoksia nopeasti sekä omaavat hyvän hyötysuhteen jopa osittaiskuormilla. Ne ovat hiljaisia ja ympäristöystävällisiä, osa saatavilla olevista laitteistosta on modulaarisia ja siten tarpeen mukaan rakennettavissa. Polttokennot voidaan jakaa useisiin eri tyyppisiin riippuen käytettävästä elektrolyytistä. Esimerkkeinä:



PEMFC = Polymeeri polttokenno

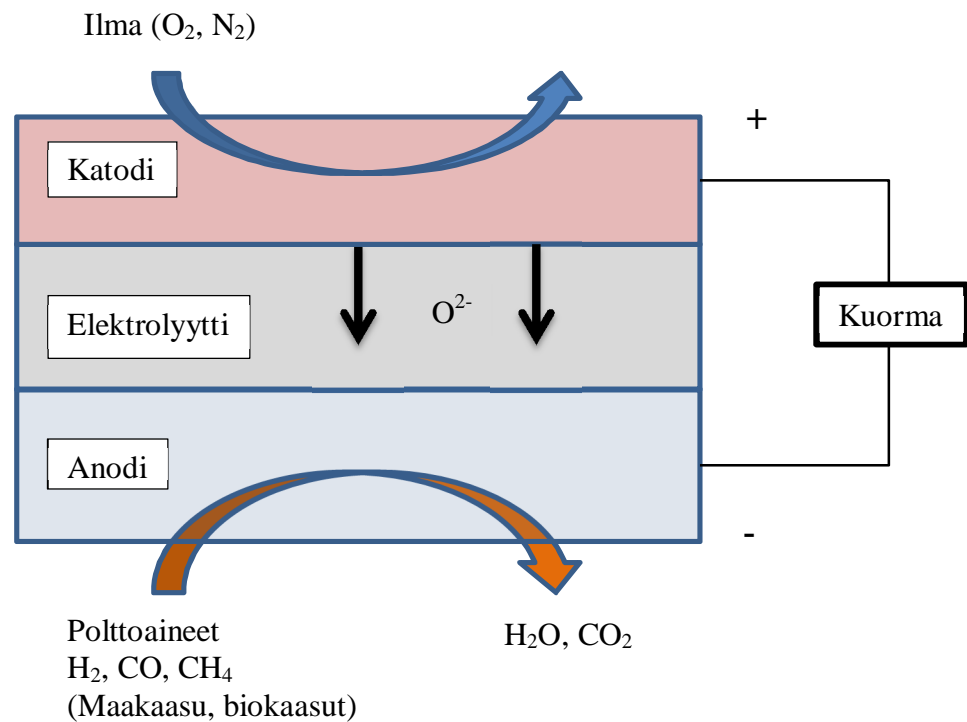
AFC = Alkalipolttokenno

PAFC = Fosforihappopolttokenno

MCFC = Sulakarbonaattipolttokenno

SOFC = Kiinteäoksidipolttokenno (Kiviaho 2007.)

Polttokennossa ei tapahdu varsinaista palamisreaktiota, vaan polttoaineena toimivan kaasun tai nesteen sisältämä kemiallinen energia muutetaan suoraan sähköksi. Polttokenno muodostuu anodista, katodista sekä näitä erottavasta elektrolyytistä (kuva 2). Polttoaine johdetaan elektrolyytin anodipuolelle. Elektrolyytti on katalysoitu siten, että polttoaine hajoaa peruskomponentteihin, jotka siten ionisoituvat. Ionisaation seurauksena vapautuneet elektronit aiheuttavat sähkövirran anodin ja katodin väliin kytkeytyssä kuormassa. Polttokennon polttoaineena toimii usein vety, mutta kennotyypistä riippuen myös hiilivety pohjaisia nesteitä ja kaasuja voidaan käyttää, esimerkiksi biokaasua, toteaa Hiltunen. Jos polttoaine on esimerkiksi hiilivetyä, on se muunnettava polttokennolle sopivaan muotoon reformerissa. Polttokenno mielletään puhtaaksi energiantuotantotekniikaksi, koska polttokennon paikalliset päästöt ovat pienet, esimerkiksi vetykäytössä päästönä on vain vesihöyry. Nykyisillä polttokennoilla voidaan saavuttaa 40 % - 50 % polttoaineesta-sähköksi -hyötysuhde. (Hiltunen 2011, 13-14.) Sivutuotteena tässä prosessissa syntyy lämpöä. Mikäli tämä lämpö voidaan hyödyntää, voidaan saavuttaa jopa 85 % kokonaishyötysuhde (OFCIR 2012). Ominaisuuksiensa ansiosta polttokenno soveltuu erityisen hyvin haja-asutusseutujen energiantuotantoon sekä sairaaloiden, linkkiasemien ja puolustusvoimien varavoimalaitokseksi tai yhdistetyn sähkön- ja lämmöntuotantoon eli pien-CHP -tuotantoon. Lisäksi polttokenno soveltuu hyvin erilaisten työkonien ja liikennevälineiden energiantuotantoon. (Hiltunen 2011, 13.)



**KUVA 2. Polttokennon toimintaperiaate ( Kiviahho 2007)**

#### 4.5 Biokaasut

Biokaasuksi nimitetään kaasuseosta, jota syntyy eloperäisen aineksen hajotessa hapettomissa olosuhteissa. Hajoaminen tapahtuu hapen puutteen takia lähinnä mädäntymällä anaerobisten bakteerien vaikutuksesta. Tämän hajoamisprosessin tuloksena syntyy lannoitekäyttöön sopivaa orgaanista mädätysjäännöstä sekä runsaasti metaania sisältävää biokaasua. Tätä hajoamisprosessia voidaan kutsua anaerobiseksi käsittelyksi, mädätykseksi tai biokaasutukseksi. (Anttonen 2010, 3.)

Biokaasu on koostumukseltaan pääasiassa metaania ( $\text{CH}_4$ ) ja hiilidioksidia ( $\text{CO}_2$ ). Metaanin osuus biokaasussa vaihtelee 40 ja 70 prosentin välillä ja hiilidioksidin osuus 30 ja 60 prosentin välillä. Näissä biokaasutusreaktoreissa tuotettu kaasu sisältää pieniä pitoisuuksia typpeä ja rikkivetyä. Kaatopaikkakaasut sisältävät näiden lisäksi myös pieniä pitoisuuksia kloori- ja fluoriyhdisteitä. Biokaasua muodostuu jatkuvasti vesistöjen pohjakerroksissa, kosteikoissa ja eläinten suolistossa. Vastaavasti kontrolloituun biokaasun tuottamiseen on monia vaihtoehtoja, kuten biokaasureaktorit tai biokaasun keräys kaatopaikoilta pumppaamalla. Esimerkiksi biokaasureaktoria voidaan käyttää

maatilalaitoksilla biokaasun tuotantoon karjan lannasta ja erilaisista biomassoista, kuten rehusta. Jätevedenpuhdistamot voisivat käyttää biokaasureaktoria biokaasun tuotantoon. Biokaasun sisältämä metaani on ilmakehään päästessään noin 20 kertaa hiilidioksidia voimakkaampi kasvihuonekaasu, joten biokaasun talteenotolla ja hyötykäytöllä voitaisiin vähentää huomattavasti kasvihuonekaasupäästöjä. (Biokaasuyhdistys 2010.)

#### **4.6 Puun ja muun poltettavan materiaalin käyttö varavoiman tuotannossa**

Tulisijojen käyttö on lisääntynyt sähkön ja öljyn hinnan noustessa. Klapeja sekä puupohjaisia pellettejä ja brikettejä poltetaan pientaloissa, maatiloilla ja suurissa kiinteistöissä erilaisissa lämmityskattiloissa ja tulisijoissa. Niitä käytetään lisääntyvässä määrin lisälämmitysmuotona päälämmityksen rinnalla. Pienet arinakattilat jaetaan yläpalo- ja alapalokattiloihin. Yläpaloperiaatteessa koko polttoaineannos syötetään kerralla tulipesään. Pienet tulisijat, kuten leivinuunit, takat ja saunan kiukaat, ovat yläpalokattiloihin verrattavia. Alapaloperiaatteessa palaminen on jatkuva prosessi, jossa polttoaineen lisääminen ei merkittävästi vaikuta palamisvyöhykkeen olosuhteisiin. Päästöjen osalta alapalokattiloiden poltto on hyvin puhdasta. Alapalokattilasta päästöjen hallinnan kannalta kehittyneempi kattilatyyppe on käänteispalokattila. Siinä palamiskaasut johdetaan erilliseen jälkipalotilaan, jossa ne palavat korkeassa lämpötilassa. (Motiva 2012a.)

#### **4.7 Yhdistetty sähkön- ja lämmöntuotanto**

Pienimuotoisen tuotannon koolle ei ole selkeää määritelmää. Sähkömarkkinalain mukaan tarkoitetaan sähkötuotantolaitosta tai laitoksien kokonaisuutta, jonka teho on enintään 2 MVA. Valtioneuvoston asetuksen mukaan voimalaitoksen haltijan tulee tehdä ilmoitus 1 MVA:n suuruisten voimaloiden rakentamisesta. VTT on ehdottanut määritelmäksi seuraavaa: ”Pienvoimala on sähköntuotantolaitos, joka on liitetty verkonhaltijan pien- tai keskijänniteverkkoon tai siihen liitettyyn asiakkaan verkkoon”. (Lehto 2009, 4-5.) Motivan (2012) mukaan pienvoimalaksi voidaan kutsutaan voimalaa, jonka sähköntuotantoteho on 1-2 MW (MWe) ja lämpöteho on tällöin 3-5 MWh. Tällöin puhutaan pienen kokoluokan sähkön- ja lämmöntuotannosta lyhennelmällä (Pien-CHP). Ylin nimellisteho tällaiselle voimalalle on 10 MW. Yhdistetyn sähkön- ja

lämmöntuotannon etuna on korkea kokonaishyöty koska sähköntuotannon osuus voi vaihdella 30 % molemmin puolin käytetystä tekniikasta riippuen. Omakotikokoluokan kattiloita suuremmat biopolttoainekattilat (noin 100 kW-1 MW) ovat pienten lämpökeskusten lämmönlähteitä. Niillä tuotetaan energiaa yksittäiseen suureen rakennukseen tai pienen alueverkon kautta usean rakennuksen. Tämän kokoluokan biopolttoainekattila on syrjäyttänyt usein öljykattilan, joka yleensä on kytketty biopolttoainekattilan rinnalle vara- ja huippuenergiakattilaksi. Pienet lämpökeskukset varustetaan nykyisin suurella varastosiilolla ja lämmöntuotantoa valvovalla, etäluettavalla automaatiikalla, jolloin keskuksen käyttökustannukset pysyvät kohtuullisina.

**Lämpökeskuksen tärkeimmät elementit ovat:**

- polttoainevarasto siirtojärjestelmiseen
- kattila ja sen polttoaineen syöttölaitteisto
- ohjaus- ja valvontainstrumentointi ja
- liitynnät lämpöverkkoon.

Lisäksi tarvitaan varajärjestelmän kattila tai sähkövastus lämpökeskuksen koosta riippuen. Lämpöyrittäjien myymä energia – keskimäärin vähän yli puoli megawattia per lämpökeskus – tuotetaan yleensä pienissä lämpökeskuksissa. Polttoaineena voidaan käyttää haketta tai pellettiä tai näiden eriasteista seosta. Pelletin etuja on matala kosteus sekä helppo varastointi- ja siirtokäsiteltävyys. Haittapuolena on ollut hinnan nousu. Hakkeen laatuvaatimus korostuu pienimmissä lämpölaitoskattiloissa, jossa tarvitaan tasalaatuista haketta ja kattilan mitoituksen sietävää kosteutta. Hakkeen ja pelletin sekoittamisella voidaan tehostaa lämmön tuottamista talven huippukuormituksen aikana tai parantaa huonompilaatuisen hakkeen lämmöntuottokykyä. Lämpöyrittäjät tuottavat lämpöenergiaa paikallisesti. Lämmön ostajana on useimmiten kunta, joka voi näin hyödyntää omalta alueelta saatavaa uusiutuvaa energiaa. Lämpöyrittäjät tuottavat myymänsä energian yleensä pienissä lämpökeskuksissa, joissa käytetään polttoaineena haketta tai pellettiä. Pääpolttoaineena on useimmiten puu. Lämpöyrittäjätoiminta on kehittynyt voimakkaasti viime vuosina. Vuoden 2009 alussa lämpöyrittäjien hoitamia lämpöyrityskohteita oli noin 400 kappaletta. Kaikkiaan mahdollisia lämpöyrityskohteita arvioidaan olevan Suomessa noin 1 000 kpl.

### **Pien-CHP tuotetaan pääosin neljällä eri perustekniikalla:**

- Polttomoottorit ja kaasuturbiinit
- Höyryturbiinit ja muut höyryvoimalaitteet
- Muut välittäjäaineisiin liittyvät tekniikat
- Polttokennot (Motiva 2012.)

#### **4.7.1 Polttomoottorit ja kaasuturbiinit**

Sähkön ja lämmön tuottaminen biokaasulla polttomoottorissa tai kaasuturbiinissa on tällä hetkellä yksi toimivimmista pien-CHP-ratkaisu. Anaerobisessa biokaasureaktori- rissa tuotettu kaasu on helppo puhdistaa polttomoottori- tai kaasuturbiinikelpoiseksi. Tällaisia biokaasuvoimalaitoksia on kauan ollut käytössä jätevedenpuhdistamojen lietebiokaasureaktorien yhteydessä. Suurimmissa jätevedenpuhdistamoissa ja kaato- paikoilla biokaasun tuotanto on tasaista, joten sähkön ja lämmön hyödyntäminen on jokseenkin selkeää. (Motiva 2012.)

Maatilojen lannan ja peltobiomassoilla avulla tuotettu kaasuenergia on melko yksin- kertaisilla ratkaisuilla muunnettavissa sähköksi ja lämmöksi. Maatilan sesonkiluontein- nen suuri sähkön ja lämmön kulutuksen vaihtelu vaikeuttaa biokaasulaitoksen järke- vää suunnittelua ja esimerkiksi juuri kaasun käyttö kesäkaudella on ongelma. Maatilan CHP-laitoksen ongelma on lämmön hyödyntäminen. Etäisyys useimmin taajaman lämpöverkkoon on pitkä ja oma käyttö vähäistä. Yksi mahdollisuus voisi olla kaasun johtaminen lähitaajaman CHP-laitokseen, joka jakaisi biokaasulla tuotetun sähkön ja lämmön omiin paikallisiin verkkoihinsa. Kaasuturbiinilaitos mikroturbiineilla on uut- ta Suomessa kehitettyä teknologiaa, joka on tällä hetkellä laajemmassa käytössä Kes- ki-Euroopassa. Vastavirtakaasutukseen, kaasun tehokkaaseen puhdistamiseen ja sen moottorikäyttöön perustuu suuri 2-20 MW polttoainetehon Novel-CHP-laitos Koke- mäellä. Myötävirtakaasutukseen (häkäpönttö) perustuvia pieniä sähkön ja lämmön tuotantoyksiköitä on Suomessa kehitystyön alla useampia. Kaasuturbiinit ovat inves- toinniltaan edullisia ja luotettavia käyttää. (Motiva 2012.)

#### **4.7.2 Höyryvoimalaitokset**

Pieniä höyryturbiini-, höyrykone- ja -moottorivoimaloita, n. 1 MWe, on otettu käyttöön viime vuosina aiempaa enemmän. Aikaisemmin käytössä ovat olleet höyryvoimalaitokset, jotka ovat olleet pääasiassa käytössä suuren kokoluokan energiantuotannossa. Tavallisesti pien-CHP-laitoksissa lämpöenergia tuotetaan hakekattilalla. (Motiva 2012.)

#### **4.7.3 Välittäjäaineisiin liittyvät tekniikat**

Höyryn ohella muita keinoja lämpöenergian muuttamiseksi sähköksi ja lämmöksi välittäjäaineen avulla ovat Stirling-moottori ja orc-teknologia. Esimerkiksi Stirling-moottori on vanha keksintö, mutta sen käyttöä CHP-laitoksissa tutkitaan ja kokeillaan vasta nyt. Tehdyt laitokset ovat kokoluokaltaan 10 - 100 kWe. Lämmittämiseen voidaan käyttää biopolttoaineita ja myös auringon lämpöä. ORC-laitoksessa hyödynnetään orgaanista välitysainetta, mikä on nesteolomuodon ja kaasun väliltä. Keski- ja Etelä-Euroopassa on rakennettu joitakin kokeilu- ja esimerkkikohteita. Laitoskoko vaihtelee välillä 500-1 500 kWe. (Motiva 2012.)

#### **4.7.4 Polttokennot pien-CHP laitoksessa**

Polttokennot ovat edelleen intensiivisen tutkimuksen ja kehittämisen kohteena varsinkin autojen energialähteeksi. Paikallisen sähkön ja lämmön tuottamiseen on olemassa laitoksia, joiden käyttöaineena on vety. Maa- ja biokaasun käyttöön kehitetään laitoksia, joilla voidaan päästä jopa kiinteistökohtaisiin energiantuotantoyksiköihin. Polttokennoratkaisujen ongelmana on vielä laitosten korkea hinta. Häkäkaasun pienimuotoiseen (hiilimonoksidi-CHP) tuottamiseen perustuvia sähkön ja lämmön tuotantoyksiköjä kehitetään myös. Mallina ovat häkäpönttöautoissa käytettävät myötävirtakaasuttimet. Myötävirtakaasutinta ei voida rakentaa suureksi tuotantoyksiköksi. (Motiva 2012.)

## 5 SUOMEN LAKIEN VAATIMUKSET PIENVOIMALAITOSTEN OSALTA

Ajantasaiset paloturvallisuusmääräykset pienvoimaloiden osalta saa kuntien paloviranomaisilta. Suomen rakentamismääräyskokoelma antaa lainsäädännöllistä ohjeistusta varavoimalaitteiston äänieristykseen, tuotanto- ja varastorakennusten paloturvallisuuteen sekä äänieristykseen ja meluntorjuntaan. Myös jokaisella kunnalla on ympäristönsuojeluohjeet ja paikallisia säädöksiä sekä ohjeita lainsäädännön tueksi.

### 5.1 Sähkölain asettamat pienvoiman vaatimukset

Sähkömarkkinalain 9 §:n mukaan tulee verkonhaltijan liittää pyynnöstä ja kohtuullista korvausta vastaan verkkoonsa tekniset vaatimukset täyttävät käyttöpaikat ja sähkön-tuotantolaitokset. Myös lain 14 b §:n mukaan enintään 2 MVA:n laitoksilta tuotannon liittymismaksuun ei saa sisällyttää sähköverkon vahvistamisesta aiheutuvia kustannuksia. Perintä tapahtuu ainoastaan kohdetta itseään palvelevasta verkon osasta aiheutuvat kustannukset. Jos tuotantolaitoksen liittäminen aiheuttaa suojausmuutoksia verkkoon, asiakas vastaa näistä kustannuksista. (Lehto 2009, 29.)

Jos vastaavasti kohteen kulutus on suurempaa kuin kohteen oma tuotanto, peritään näissä tapauksissa normaalit käyttöpaikan liittymismaksut. Jos kulutus jää pienemmäksi kuin tuotanto, arvioidaan kulutusta varten laadittavan liittymän koko ja sen pohjalta kulutuskohtainen maksu. (Lehto 2009, 29.)

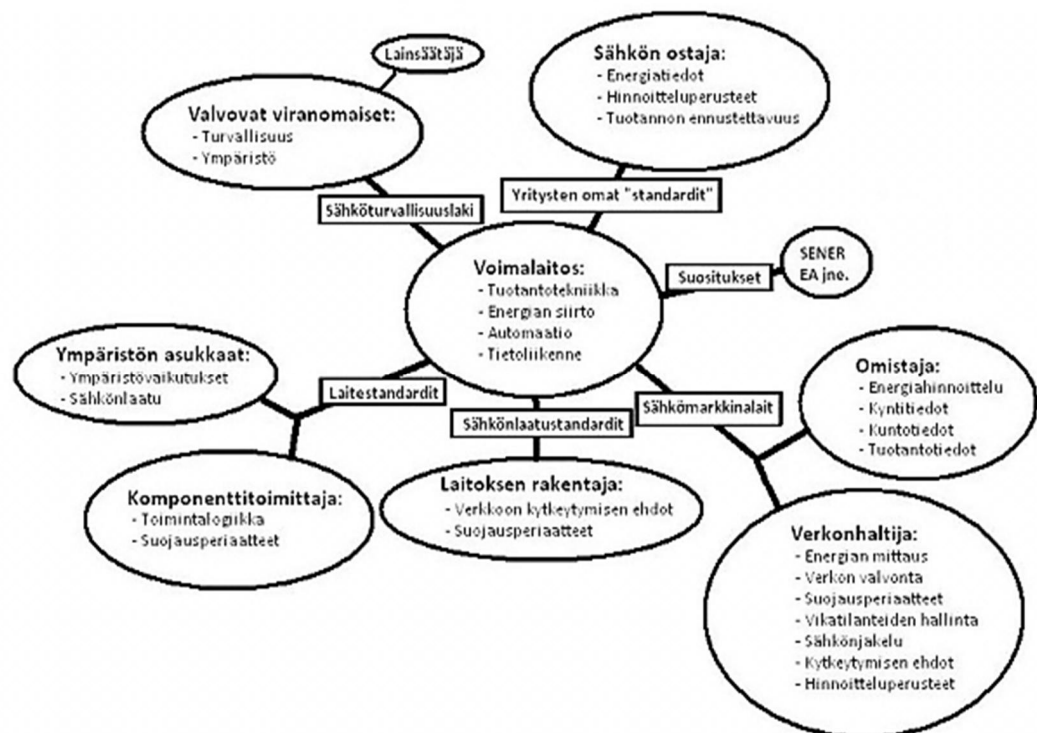
Pienvoima vastaa hyvin pitkälti suuria voimalaitoksia vaatimuksien osalta. Laitteiden tulee olla laillisia sekä standardien ja määräyksien mukaisia. Laitteiden käyttöä tulee myös valvoa suunnitelmien mukaan. Tyypillisesti nämä pienet, hajautetun tuotannon laitokset ovat itsenäisesti toimivia ja hyvin pitkälle automatisoituja. Niissä käytetään myös kunnonvalvontaa sekä etädiagnostiikkaa. (Kinttula 2008, 27.)

Sähkönjakeluyhtiöillä on myös velvoitteita, jotka perustuvat niin lakeihin, määräyksiin kuin standardeihinkin. Lisäksi eri organisaatiot, kuten SENER, antavat suosituksia laitosten käytännön toiminnoista. On myös olemassa verkkovalvontaa sekä kauko-käyttöjä, jotka ovat puhtaasti jakeluyhtiöiden omia standardoituja menettelytapoja. Suomessa nämä tekniset ehdot arvioidaan hyvin usein tapauskohtaisesti. Jokseenkin

epäselvien ja ristiriitaisten ohjeiden vuoksi joudutaan monesti liitäntöjen kohdalla keskustelemaan tulkinnasta. Osa verkkoyhtiöistä tulkitsee tiukemmin. Toimintaa ohjaavat myös kaupalliset velvoitteet joita ovat energian mittaus, sähkön laatu, loisenenergiamaksut sekä itse energian osto- ja myyntiehdot. Tällaiset seikat nostavat järjestelmien hintoja ja estävät yhteneväisen markkinoiden syntymisen Suomeen. (Kinttula 2008, 27 – 28; Sitra 2012, 7.)

Hajautetun tuotannon etuna nähdään se, että tulevaisuudessa yhtenäistä sähköverkkoa ei välttämättä tarvita joka paikassa. Pienvoimalat pitävät yllä riittävää jännitettä ja taajuutta tietyissä rajoissa, myös saarekekäytössä, mikäli säätöjärjestelmiin on nähty riittävästi vaivaa ja ne ovat kunnossa. Ongelmia voi kuitenkin ilmetä liittyen itse verkkoon liityntään, laatuun, kunnonvalvontaan ja tiedonvälitykseen. (Kinttula 2008, 28.)

Kuvassa 3 on esitetty pienvoimalaitoksen toimintaympäristö. Siinä kuvataan niitä sidosryhmiä, joilla on intressejä voimalaitosta kohtaan. Kuvasta ilmenee myös se, miten kyseinen taho kontrolloi ja valvoo intressejään. (Kinttula 2008, 28.)



KUVA 3. Pienvoiman toimintaympäristö lähdettä mukailen (Kinttula 2008, 28)



Kuvasta 3 voidaan päätellä, että voimalaitoksen toimintaan ja rakentamiseen vaikuttavat monet tahot. Jo voimalaitoksen rakentamiseen vaikuttavat energian tuotantotapa, käytettävät tietoliikennetkaisu- ja automaation aste. Tarvittaviin laitteisiin ja turvallisuustekijöihin ottavat kantaa viranomaistahot ja lainsäädäntö. Näistä tärkeimpiä ovat sähköturvallisuuslaki sekä SENER omien suositustensa kautta. Myös monet yritykset tarkkailevat omaa toimintaansa omien toimintatapojensa ja tutkimuksiensa kautta. Esimerkkinä voidaan nostaa hinnoitteluperusteet. Myös laitteistojen toimittajia säätelevät eri laitestandardit, joissa otetaan kantaa laatuun ja ympäristövaikutuksiin. Sähkömarkkinalaissa määritellään verkonhaltijan toimintaa, joita voimalaitoksen käyttäjän tulee huomioida. Näistä tärkeimpiä ovat verkkoon kytkeytymisen ehdot sekä toiminta eri tilanteissa kuten energian mittauksessa. Kaiken päälle toimitettavan tuotteen tulee olla laadukasta ja täyttää laatustandardit. (Kinttula 2008, 28.)

Lehdon (2009, 29,34) mukaan kotitaloudella” on oikeus siirtää oma tuotantolaitos verkkoon, kun se täyttää sille asetetut tekniset vaatimukset. Kotitaloudella on myös sekä oikeus siirtää sähköä verkkoon, kun tuotantolaitoksen liityntä ja mittaus täyttävät niille asetetut vaatimukset ja kun tuottajalla on ostaja verkkoon siirtämälleen sähkölle. Mikäli tuotantolaitoksen haluaa liittää verkkoon, vaikka sähkölle ei ole ostajaa, on tehtävä erillinen sopimus verkkoyhtiön kanssa. Verkonhaltija ei tällöin maksa asiakkaalle markkinoiden mukaista korvausta eikä peri verkkopalvelumaksua sähkön siirrosta. Tällaisessa sopimusmallissa verkkoon syötetty sähkö ei näy markkinoilla eikä sähkötaseissa, vaan vähentää jakeluverkonhaltijan häviöiden määrää. Myöskään itse käytetyn sähkön verovelvollisuutta ei tällöin ole”.

## **5.2 Sähköverkkojen suunnittelulle aiheutuvat ongelmat**

Sähköverkkojen suunnittelun peruslähtökohtana on ollut Suomessa kautta aikain, että sähkö kulkee vain yhteen suuntaan. Pienoisvesivoiman sekä muun hajautetun tuotannon yleistyessä tähän ajatusmaailmaan on tullut muutoksia. Pienet tuotantolaitokset sijoitetaan usein pienjänniteverkkoon ja niiden määrän kasvaessa verkon suunnittelua pitää lähestyä aivan toisesta suunnasta. Tällöin tulee väistämättä eteen tilanne, että sähköä tullaan siirtämään kulutuspisteistä sähköaseman suuntaan. Näin ollen siirto-

verkoista tulee sähkön keräilyverkkoja, joissa on sekä pienmuotoista, hajautettua sekä massiivista, keskitettyä voimantuotantoa. (Kinttula 2008, 29)

Sähköverkot suunnitellaan pitkälle aikavälille, suunnittelujänne on kymmeniä vuosia. Verkkojen suunnitteluun liittyvät tehtävät ovat moniulotteisia niin pitkäaikavalin suunnittelusta kohdennettuun suunnitteluun. Kaikkien suunnitelmien tavoitteena on löytää toimivin tekninen ratkaisu. (Lakervi ym. 2008, 63). Suomessa uudistetaan sähkönjakeluverkkoa. Kaapeleita siirretään maan alle, ja niiden käyttöikä lieenee jopa 100 vuotta. Minkälaiset ovat tarpeemme tulevana vuosina ja miten siihen vastataan sähkösuunnittelulla?

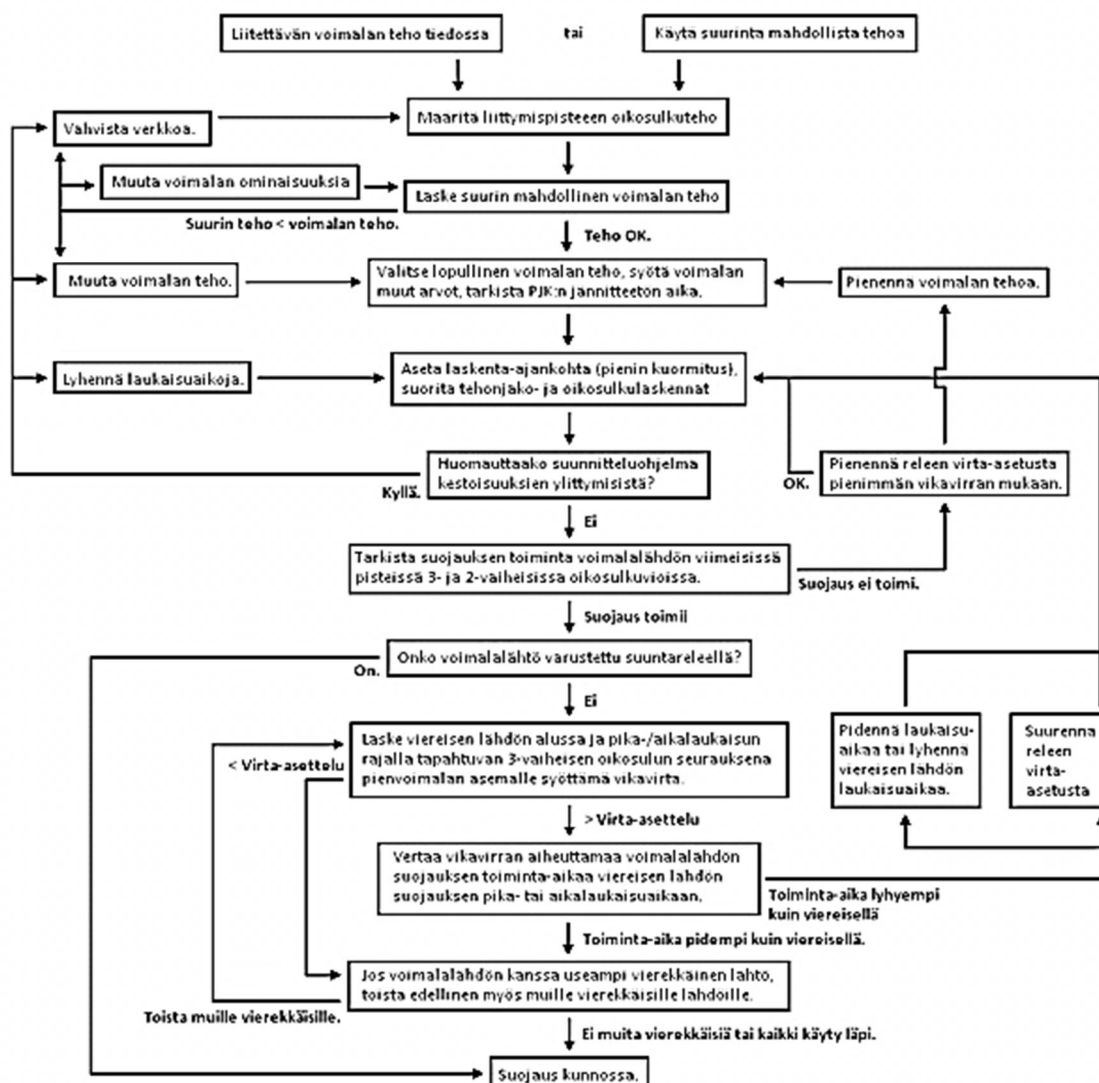
Pienimuotoisen hajautetun sähköntuotannon (tuuli-, aurinko- ja pienvesivoima) verkko-vaikutuksia on tutkittu vasta vähän aikaa, mutta kiinnostus on kovaa vauhtia kasvamassa, ja kiinnostus asiaa kohtaan on kasvamassa.

Pienten kiinteistökohtaisten lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitoksien, eli niin sanottujen CHP -yksiköiden tulevaisuus näyttää lupaavalta kaukolämpöverkon ulkopuolella, toteaa Kinttula. Kiinteistöt, joissa tarvitaan merkittävästi lämpöä ja sähköä, ovat otollisia sijoituskohteita tällaisille mikrovoimaloille. Käyttökohteita ovat mm. uimahallit, hotellit, kerrostalot, pienteollisuus jne. Samalla voitaisiin turvata kiinteistön sähkönsaanti riippumatta jakeluverkon olosuhteista. Hajautetun tuotannon lisääntyminen vaikuttaa verkon vikatilanteisiin, koska samalla, kun hajautettu tuotanto lisääntyy, kasvaa myös vikavirtalähteiden määrä. Lähtöjen suojaukset eivät välttämättä enää toimi alkuperäisillä asetuksillaan, koska verkon vikavirtojen suuruudet ja suunnat voivat muuttua. Tästä ongelmasta päästään muuttamalla suojauksen asetuksia, mutta tulee muistaa myös mahdollinen tilanne, jolloin kaikki pienvoimalaitokset ovat poissa tuotannosta. Tällöin tilanne on sama kuin entisenlaisessa sähkönjakeluverkossa. Verkkojen vahvuuksien ja jäykkyyksien tulee kuitenkin säilyä ennallaan. (Kinttula 2008, 30.)

Suunnitellessa useamman tuotantolaitoksen verkkoa on tuotannon luotettavuudesta ja tyyppistä pääteltävä, onko tilanne, jossa jokainen tuotantolaitos on irti verkosta mahdollinen. Esimerkiksi useamman tuulivoimalan sijaitessa samalla lähdöllä on hyvin todennäköistä, että kaikki ovat samassa myrskyssä tai tyvenessä säässä, jolloin tuotantoa

ei ole. Puolestaan lämpövoima ja vesivoima ovat jatkuvatuottoisempaa, eivätkä käyttökätkokset ole niin todennäköisiä. (Kinttula 2008, 31.)

Lähtökohtana suunnittelulle on, että aloite hajautetun tuotannon liittämisestä tulee tuottajalta. Heillä on paras käsitys siitä, millainen ekologinen tila tuotantolaitoksen ympäristössä vallitsee. Tässä vaiheessa suunnittelija saa liityntäpisteen sekä voimalaitoksen tekniset tiedot. Niistä lasketaan oikosulkuteho. Tästä voidaan laskea suurin mahdollinen asennettavissa olevan voimalan teho. Mikäli suunniteltu voimala ylittää tämän arvon, on joko vahvistettava verkkoa, rajoitettava voimalaitoksen tuotantoa tai pienennettävä voimalaitosta. Kun nämä asiat on päätetty, suoritetaan tehonjako- ja oikosulkulaskennat sekä lasketaan suojaukselle uudet asetusarvot. Mikäli arvoja muutetaan, palataan tekemään uudet tehonjako- ja oikosulkulaskennat. Arvojen laskeminen on niin sanotusti iteratiivista. Laskentarutiini on esitetty lohkokaaaviona kuvassa 4. (Kinttula 2008, 31.)



**KUVA 4. Suojauksen suunnitteluprosessin eteneminen (Kinttula 2008, 32)**

Käyttöturvallisuus on aina etusijalla, joten suojausvaatimuksista ei voi tinkiä. Voimalaitoksen syöttämä oikosulkuvirta tulee tietää tarkasti ja laitteen syötettävästä verkosta erottaminen tulee olla riittävän nopeaa vakauden säilyttämiseksi. Mahdollisia ovat myös huoltotoimien aikaiset takateho-ongelmat, jotka ovat olleet tähän asti esimerkiksi loistehon kompensointipattereiden tai varasyöttöjen ongelmia. Lisäksi paloturvallisuuden ja laitteiden rikkoutumisen estämisen takia tulee ylivirtasuojaukseen kiinnittää huomiota. Suomessa Sähkölaitosyhdistys Ry on kirjannut ohjeeseensa SLY 3/90 suosituksia alle 1 MW:n pienvoimaloiden sähköjakeluverkkoon liittämisestä. Tämän

teoksen on myöhemmin korvannut SENERin ohje 8/01. (Kinttula 2008, 31). Seuraavaksi kerrotaan tämän ohjeen tärkeimmistä kohdista.

### 5.3 SENERin suosituksia pienvoimalan liittämisestä jakeluverkkoon

Tärkein kriteeri on, että laitos ei saa aiheuttaa vaaraa kenellekään tai häiritä muiden sähkönkäyttäjien toimintaa. Pienvoimalaitos ei saa jäädä syöttämään yksinään jännitteetöntä johtoa huoltotilanteessa tai tilanteessa, jossa syötettävän verkon jännite häviää kokonaan tai osittain. Laitos on pystyttävä myös erottamaan ja lukitsemaan erotusasentoon työturvallisuuden varmistamiseksi ja tähän erotinlaitteistoon olisi hyvä olla pääsy myös paikallisella verkonhaltijalla. (SENER 2001.)

Myös tuotetun sähkön on oltava laadultaan riittävän hyvää, jännitevaihtelut eivät saa olla liian suuria kytkettäessä tai erottaessa pienvoimalaitos jakeluverkosta. Nopeita jännitteen muutoksia ei myöskään saa esiintyä liikaa. (SENER 2001). Muita perusvaatimuksia suojaukselle ovat aina olleet aukottomuus, luotettavuus ja selektiivisyys. Oikosulkusuojaus voidaan toteuttaa pienjänniteverkossa pelkästään varokkeilla, mutta ylikuormitussuojana on oltava moottorinsuojakytkin. Käytännössä tämä moottorinsuojakytkin tarkoittaa lämpörelettä. Tällöin kriteerit täyttää esimerkiksi kompaktikatkaisija, jossa on sisäänrakennettu lämpösuoja. Lisäksi syötön estämiseksi täytyy olla jänniterele, joka laukaisee generaattorin irti verkosta, kun jännite poikkeaa väliltä 85–115 % tai taajuusrele, joka laukaisee taajuuden poiketessa yli 3 Hz nimellistaajuudesta. (Kinttula 2008, 33.)

Asynkronigeneraattorin verkkoon kytkemisen tulee yleensä tapahtua 97–103 % synkronisella pyörimisnopeudella. Mikäli kojeisto on automaattisesti uudelleen sähköverkkoon kytkeytyvä, tulee se varustaa laitteistolla, joka rajoittaa verkkoon kytkemisen riittävällä hidastuksella esimerkiksi 5–20 min. Jos verkon oikosulku- tai maasulkusuojauksessa käytetään pikajälleenkytkentää, tulee generaattorin irrota verkosta 0,3 s kuluessa. Koneisto voi olla tarpeen varustaa muillakin suojalaitteilla sen oman suojauksen kannalta. (Kinttula 2008, 33.)

Pienvoimalan generaattorin jakeluverkkoon kytkemisestä aiheutuu jännitteenmuutos jakeluverkkoon. Kytkennästä aiheutuvan jännitemuutoksen voi laskea kaavalla 1.

$$\Delta U = I_{suhde} \cdot \frac{S_n}{S_k} \cdot U_v \quad (1)$$

missä  $I_{suhde}$  on generaattorilaitteiston kytkentävirran suhde nimellisvirtaan,  $S_k$  on verkon oikosulkuteho ensimmäisessä muun kuluttajan kanssa olevassa yhteisessä verkon pisteessä,  $S_n$  on generaattorilaitteiston nimellisteho ja  $U_v$  on verkon vaihejännite. Standardit sallivat vain 5 %:n suuruisen jännitemuutoksen, kun generaattorilaitteisto kytketään verkkoon. Näin ollen kannattaisi suunnittelun raja-arvoksi SENERin mukaan valita 4 %. Näin ollen kaavasta 1 saadaan johdettua verkon liittymispisteen oikosulkuteholle lauseke, kaava 2:

$$S_k \geq 25 \cdot I_{suhde} \cdot S_n \quad (2)$$

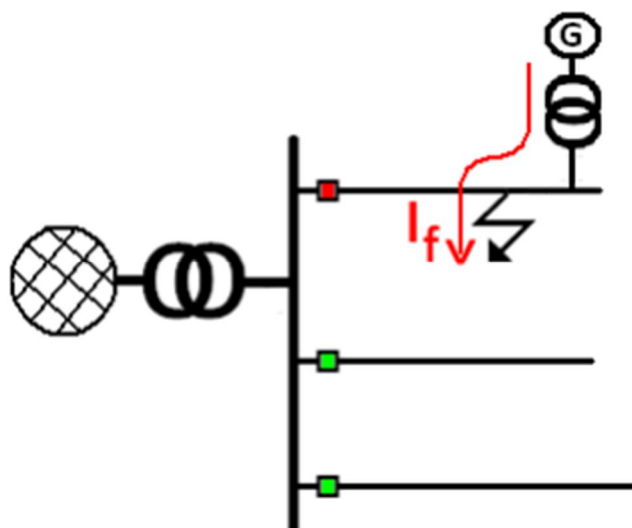
Suoraan verkkoon kytketyllä epätahtigeneraattorilla  $I_{suhde}$  on luokkaa 3–8. Mikäli verkon oikosulkutehoarvot eivät täyty, voidaan kytkentäjännitemuutosta rajoittaa käyttämällä pehmokäynnistimiä tai tahdistuslaitteistoa. Jos pienvoimala liitetään jakeluverkkoon välimuuntajan avulla, voi muuntajan impedanssi rajoittaa kytkentävirtaa 25 %. (SENER 2001). Tilanne vastaa täysin myös verkosta irtoamista. Irrottautumisen tulisi tapahtua hallitusti siten, että ensin generaattorin tuotanto ajetaan minimiin ja vasta tämän jälkeen generaattori irrotetaan sähköverkosta. Aina näin ei ole kuitenkaan mahdollista. Vikatilanteen aikana katkaisija tai varokkeet irrottavat tuotantolaitoksen nopeasti jakeluverkosta ja tällöin jännitekuopat voivat olla suuriakin. (Kinttula 2008, 34.)

#### 5.4 Suojauksen tyypilliset ongelmatilanteet

Pientuotanto tuo uudenlaisia huomioon otettavia asioita sähköverkon suojauksen toiminnan kannalta. Herkät pienvoimalat voivat toimia ongelmatilanteissa hyvinkin eri lailla, jonka johdosta suojauksen on oltava kattava. Seuraavassa kerrotaan muutamista tyypillisistä ongelmatilanteista.

### 5.4.1 Jälleenkytkennän epäonnistuminen

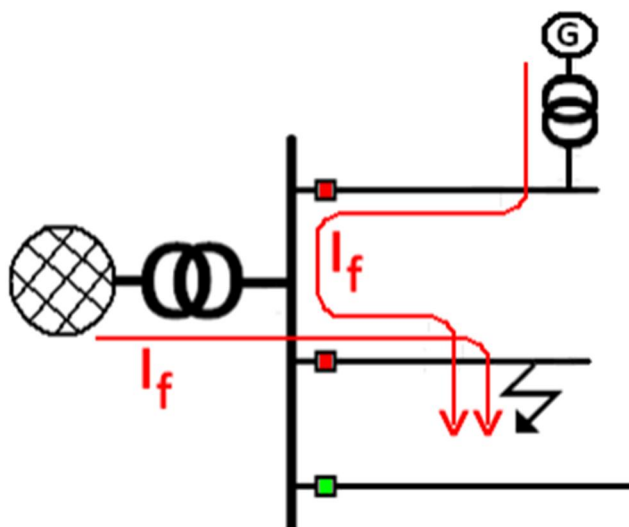
Keskijänniteverkkoon pienvoimala kytketään lähes aina muuntajan välityksellä. Yleensä muuntaja on kytketty voimalan puolelta tähteen ja verkon puolelta kolmioon. Tästä syystä voimalan toiminta ei häiriinny maasulun aiheuttamasta vaihejännitteiden epäsymmetriasta. Pienvoimala ei myöskään vaikuta keskijänniteverkon maasulkusuojauskeinojen toimintaedellytyksiin. Ainoastaan johtolähdöillä, joilla on käytössä jälleenkytkentäreleistö, syntyy ongelmia. Maasta erotetussa avojohtoverkossa noin 90 % maasuluista on selvitettävissä jälleenkytkentöjen avulla. On kuitenkin muistettava, että vaikka johtolähtö erotettaisiin lyhyeksi aikaa, voi vikapaikan alapuolisessa verkossa oleva pienvoimala ylläpitää jännitettä, niin että maasulku ei sammua itsestään ja jälleenkytkentä epäonnistuu. Siten myös voimala on erotettava verkosta jälleenkytkennän jännitteettömänä aikana, jotta valokaari sammuu ja jälleenkytkentä voidaan tehdä onnistuneesti. Tarvittaessa jälleenkytkennän aikahidastusta voi myös kasvattaa. Erottaminen on tärkeää myös voimalan kannalta. Pikajälleenkytkentä voi aiheuttaa tahdistamattoman verkkoon kytkennän, minkä seurauksena voi olla laitteistovaurioita. (SENER 2001.)



**KUVA 5. Jälleenkytkennän epäonnistuminen, koska hajautettu tuotanto syöttää vikapaikkaan valokaarta ylläpitävää vikavirtaa (SENER 2001; Kinttula 2008, 38)**

### 5.4.2 Lähdön tarpeeton erottaminen

Verkkoa suojataan oikosuluilta yleensä vakioaikaylivirtasuojilla. Näiden asetteluarvot valitaan pienimmän johtolähdössä esiintyvän oikosulkuvirran mukaan. Ennen pienvoimalan verkkoon liittämistä on varmistuttava, että voimalan viereiseen vialliseen johtolähtöön syöttämän vikavirran arvo ei ylitä terveen lähdön suojauksen asetteluarvoa. Päinvastaisessa tapauksessa terveen lähdön suojaus toimii erottaen kyseisen lähdön turhaan verkosta. Hankalin tilanne on lähellä sähköaseman kiskostoa tapahtuva 3-vaiheinen oikosulku. Jos samaan johtolähtöön liitettyjen pienvoimaloiden yhteenlaskettu teho pysyy riittävän alhaisena, suojauksen selektiivisyys ei ole vaarassa. Kyseisen tilanne on havainnollistettu kuvassa 6. Tilanteen ollessa toinen, voimalat voidaan liittää jakeluverkkoon vain, jos ylivirtasuojauksen kykenee havaitsemaan vikavirran suunnan (suuntareleet) ja siten estämään terveiden johtolähtöjen erottamiset. (SENER 2001.)



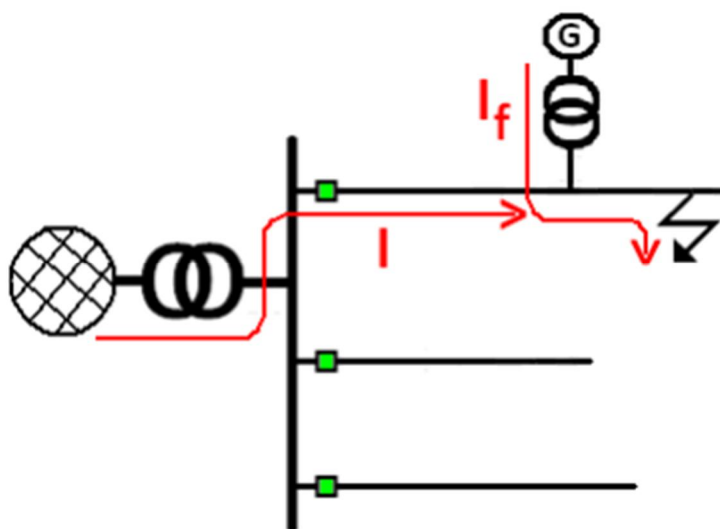
**KUVA 6.** Hajautettu tuotanto syöttää toisen lähdön vikapaikkaan vikavirtaa ja ylittää oman lähtönsä suojauksen asetteluarvon ja laukaisee oman terveen lähdön pois (SENER 2001; Kinttula 2008, 39)

### 5.4.3 Lähdön ylivirtasuojauksen toiminnan estyminen

Kun suuritehoinen pienvoimala liitetään kauas sähköasemasta ja vika tapahtuu laitteiston lähellä samalla johtolähdöllä, voi verkon oikosulkuimpedanssi vian ja sähköaseman välillä muodostua paljon suuremmaksi kuin vian ja laitteiston välisen verkon



oikosulkuimpedanssi. Tällaisessa tapauksessa voi sähköaseman vikapaikkaan syöttämä vikavirta pienentyä hetkellisesti verrattuna tilanteeseen, jolloin jakeluverkossa ei ole tuotantoa. Näin ollen johtolähdön suojauksen toiminta voi hidastua. Em. tilanteessa pienvoimalan suojauksen on ensin erotettava laitteisto verkosta. Näin johtolähdön omille suojalaitteille luodaan edellytykset säilyttää herkkyys. Haittapuolena tässä on se, että vian eliminointiin tarvittava aika pidentyy. Tilannetta helpottavat uudet nopeat releet. Vaihtoehtoisesti pienvoimala voidaan liittää omalla johtolähdöllä suoraan sähköasemaan, jolloin edellä mainittua ongelmaa ei ole. (SENER 2001.)



**KUVA 7. Hajautettu tuotanto pienentää sähköaseman syöttämän vikavirran määrää estäen tai hidastaen suojauksen toimintaa (SENER 2001; Kinttula 2008, 40)**

#### 5.4.4 Takaisinsyöttö kiskoviassa

Itse kiskoston oikosulkusuojaus on monesti toteutettu virtaehdoisella valokaarisuojalla. Laite toimii siten, että jos sen anturit havaitsevat valon välähdyksen ja samalla kiskostossa alkaa kulkea laukaisuarvot ylittävä virta, antaa rele laukaisukäskyn. Tämän laukaisukäsky on ohjattu kiskokatkaisijalle, joka säteittäisessä verkossa poistaa vioittuneen osan jakeluverkosta. Hajautettu tuotanto kykenee kuitenkin syöttämään jännitettä lähdestä kiskoon päin. Tämä ongelma vältetään käyttämällä siirtolaukaisua eli käytännössä valokaarisuojan laukaisukäsky ohjataan yläpuolen katkaisijan lisäksi jokaiseen lähtökatkaisijaan, jossa tuotantoa on. (Kinttula 2008, 40)

#### 5.4.5 Tahdistamaton jälleenkytkentä

Mikäli voimalaitoslähtöä on tarkoitus käyttää suosituksista huolimatta saarekkeessa, ilmenee säätöongelmien lisäksi ongelmia tahdistamattoman jälleenkytkennän kanssa. Ongelmat ovat vääntömomentti-, virta- ja jännitetransientteja, jotka niin mekaanisesti kuin sähköisesti rasittavat eri komponentteja. Tämä voidaan estää varustamalla voimalan ja jakeluverkon välinen liitäntäpiste ”synchronism check” -releellä. Tämä saattaa kuitenkin itsessään vähentää onnistuneiden jälleenkytkentöjen määrää ja samalla heikentää käyttövarmuutta. Nopea eroonkytkentä voidaan toteuttaa myös vektoripohjaisilla ROCOF-releillä tai yksinkertaisesti pidentämällä pikajälleenkytkennän aikaa tuotantolaitoksella. (Kinttula 2008, 40-41.)

#### 5.4.6 Jännitejähkyys

Heikoissa verkoissa tuotannon liittäminen johdon loppupäähän nostaa jännitettä silloin, kun kulutusta on vähän. On täysin mahdollista, että sallitut raja-arvot ylittyvät tai vaihtoehtoisesti alittuvat tuotannon ollessa pois käytöstä. Ratkaisuna ongelmaan ovat esimerkiksi pieni-impedanssisten johtojen käyttö, mutta useimmiten tämä ratkaisu muodostuu hyvin kalliiksi. Toinen vaihtoehto on jakelumuuntajan muuttaminen automaattisäätöiseksi. Normaalissa tilanteessa jännitettä säättävä väliottokytkin on aseteltu tiettyyn arvoon ja tämän arvon muuttaminen vaatii jännitteettömän hetken. Lisäksi tämä vaatii mekaanista työtä. Jännitetason muutosta voidaan arvioida kaavan 3 avulla

$$\frac{\Delta U}{U} \approx \frac{R_K \cdot P_N + X_K \cdot Q_N}{U^2} \quad (3)$$

jossa  $U$  on verkon pääjännite (V) liittymispisteessä,  $R_K$  on verkon oikosulkuresistanssi ( $\Omega$ ),  $P_N$  on generaattorin nimellisteho (W),  $Q_N$  on generaattorin nimellisoisteho (VAr) ja  $X_K$  on verkon oikosulkureaktanssi ( $\Omega$ ). Loistehoissa on otettava huomioon mahdollisen kondensaattoripariston vaikutus. (Kinttula 2008, 41.)

#### 5.4.7 Keskijännitejohtojen viat

Kun maasulku sattuu jollakin muulla kuin pienvoimaa sisältävällä keskijännitelähdöllä, ei pienvoimalan tarvitse erota verkosta. Terveiden lähtöjen turhat erottamiset maasuluissa on jo estetty suuntareileillä. Pienvoimalan kanssa samalla johtolähdöllä tapahtuvassa maasulussa on laitteiston suojauksen toimittava, jos verkon maasulkusuojaus on laukaiseva. Tällöin ei ole vaaraa, että pienvoimala jäisi yksin syöttämään verkkoa. Jos kyseisellä lähdöllä on käytössä pikajälleenkytkentä, tulisi laitteiston erota verkosta jännitteettömänä väliaikana eli alle sekunnin kuluttua maasulun syntymisestä. Pienvoimalan liittymispisteen takana sattuvien maasulkujen varalta olisi hyvä, jos pienvoimalalla olisi myös oma maasulkusuojaus. Näin laitteiston liittymispisteen suojaus toimisi ennen sähköaseman lähdön suuntareleen laukaisevaa toimintaa. Viereisellä johtolähdöllä tapahtuvassa oikosulussa ei sen keskijännitelähdön ylivirtasuojaus, mihin pienvoimala on liitetty (terve lähtö) saa toimia. Keskijännitelähdön ylivirtareleen aikahidastus on normaalisti alle sekunnin mittainen. Jos pienvoimala kestää tämän ajan mittaisen oikosulun ilman stabiilisuuden menetystä, ei sen tarvitse erota verkosta. Vaihtoehtoisesti pienvoimala voi menettää stabiilisuutensa ja sen on erottava verkosta. Kun oikosulku tapahtuu pienvoimalan kanssa samalla johtolähdöllä, toimii sähköasemalla kyseisen lähdön ylivirtasuoja. Jottei pienvoimala jäisi yksinään syöttämään vikapaikkaa, tulee myös pienvoimalan liittymispisteen oikosulkusuojauksen toimia. Pienvoimalan liittymispisteen takana sattuvissa oikosuluissa on liittymispisteen oikosulkusuojauksen luonnollisesti toimittava aina ennen sähköaseman lähdön ylivirtareleen laukaisua. (SENER 2001.)

#### 5.4.8 Pienjänniteverkon viat

Keskijänniteverkossa ja 110 kV verkossa sattuvat viat vaikuttavat myös pienjänniteverkkoon liitettyihin pienvoimaloihin. Sen sijaan pienjänniteverkon viat eivät heijastu ylemmille jännitetasoille (jos oletetaan että suojaus on selektiivinen). Jos vika sattuu muuntamon alueella muulla kuin pienvoimalan liittymisjohdolla, ei pienvoimalan tarvitse erota verkosta. Sen sijaan muuntajassa, muuntamon pienjännitekeskuksessa ja pienvoimalan liittymisjohdoilla sattuvissa vioissa on ylivirta- tai muun suojauksen toimittava. (SENER 2001.)

## 5.5 Arvioita verkostosuunnittelusta hajautetun tuotannon kanssa

Hajautetun tuotannon liittäminen jakeluverkkoon muuttaa käsitystä suunnittelusta niin teknillisellä kuin taloudellisella tasolla. Verkon muodostamat kustannukset ja asiakailta saatavat verkkomaksut muuttuvat oleellisesti asiakkaiden itse tyydyttäessä oman energiantarpeensa. Tällöin sähkön siirto vähenee ja saatavat tulot vähenevät. Toisaalta usean pienvoimalan syöttäessä jakeluverkkoa, energian siirtokustannukset voivat kasvaa. Tällöin tulee eteen ongelma siitä, miten siirto- ja liittymämaksut saadaan määritettyä uudestaan jakeluverkkoyhtiöiden kannalta tuottoisiksi. Liittymismaksujen ja verkon kehittämisvelvollisuuden välille olisi saatava selkeä yhtäläisyys ja samalla tulisi ottaa huomioon liittymän aiheuttamisperiaate, eli liittymän hankintajärjestys ei saisi vaikuttaa liittymiskustannuksiin, toteaa Kinttula. (Kinttula 2008, 41-42.)

Hajautetun tuotannon muuttaessa verkon käyttöä, muuttuvat myös vahvistamistarpeiden kriteerit. Nämä tarpeet ilmenevät suojauksen toimimattomuutena, oikosulkukestoisuuden ylittymisenä tai jännitteen nousuna. Tällä erää suunnittelussa perehdytään tapauskohtaiseen suunnitteluun ennakoivan, pidemmän tähtäimen suunnittelun jäädessä taka-alalle. Tämä on tosin ymmärrettävää, sillä epävarmuustekijät hajautetun tuotannon kanssa ovat merkittävät. Näitä ovat tuotannon sijainti sähköverkon näkökulmasta sekä itse tuotannon määrän kasvu ja kasvunopeus. Myöskään pienvoimaloiden liittämisestä jakeluverkkoon ei ole liiemmin kokemuksia sähköyhtiöissä. (Kinttula 2008, 41-42.)

## 5.6 Hajautetun tuotannon suojaus

Pienvoimalan suojauksen tärkein kriteeri on turvallisuus. Voimalaitosta on pystyttävä käyttämään siten, ettei siitä koidu vaaraa kuluttajille ja verkkohenkilökunnalle tai haittaa itse sähköverkolle ja muille kuluttajille. Myös korjaustöiden tekijä on tärkeänä lenkinä turvallisuuden takaamiseksi. Suojalaitteiden oikeanlainen toimiminen takaa turvalliset käyttöolosuhteet niin laitteille, ihmisille kuin eläimillekin. (SENER 2001.)

Yhtenä tuotannon suojauksen perusedellytyksenä on, että verkkoyhtiön jännitteettömään verkkoon ei syötetä sähköä. Tämä on tärkeää jo pelkästään työturvallisuuden takia, mutta myös vikapaikan jälleenkytkennän onnistuminen saattaa riippua koko

lähdön kytkemisestä jännitteettömäksi. Perinteisesti tällainen suojaus voidaan toteuttaa alijännitereleellä, sillä pieni voimalaitos ei millään kykene syöttämään koko lähdön vaatimaa muuttuvaa kuormitusta ainakaan kovin pitkää aikaa, sillä pienvoimalaitoksissa ei yleensä ole jännitteen säätömahdollisuutta. Alijänniterelettä käytettäessä olisi kuitenkin hyvä asettaa toiminta-aika riittävän pitkäksi, jotteivät jännitekuopat aiheuttaisi turhaa voimalaitoksen erottamista verkosta. Myös muita keinoja on olemassa, kuten loistehon määrän muutoksen seuraaminen ja taajuusreleiden käyttö. Nämä muuttuvat myös lähdön katkaisijan avautuessa. (Kinttula 2008, 43.)

Jokaiseen sähköasennuskohteeseen tulee tehdä käyttöönottotestaus. Pienvoimala ei poikkea tästä. Testin tarkoituksena on varmistua siitä, että voimala on asennettu oikein ja asianmukaisesti sekä että sen suojaus- ja säätöjärjestelmät toimivat oikein. Testi tulisi uusaa myös silloin, kun suojausasetuksia tai muita laitteita tai ohjausjärjestelmiä muutetaan kyseisessä kohteessa. Sähköturvallisuusstandardit ottavat tarkemmin kantaa käyttöönotto- ja määräaikaistestaukseen. Laitteita tulee kuitenkin testata säännöllisesti turvallisen toiminnan takaamiseksi. (Kinttula, 2008, 43.)

Hajautettu tuotanto on kuitenkin toimiva ratkaisu saarekekäytössä. Kinttulan mielestä on kuitenkin huomioitava, että jännitteettömään verkkoon syötön esto ei tarkoita sitä, että voimalaitos ei voisi toimia lähellä olevan kulutuksen kanssa saarekkeessa, mikäli se on erotettu valtakunnan verkosta. Tällöin tosin ongelmaksi muodostuu taajuuden ja jännitteen säätö sekä myös saarekkeen tahdistaminen takaisin verkkoon. Mikäli voimalaitos kuitenkin kykenee säätämään kyseisiä suureita, ei saarekekäytölle ole esteitä. Kyseinen saarekekäyttö voisi tulla kyseeseen esimerkiksi teollisuuden katkeamattoman syötön varmistamiseksi. (Kinttula 2008, 44.)

Saarekekäyttöä on tutkittu sekä Amerikassa että Euroopassa EU:n rahoittamassa MicroGrids -hankkeessa. Konseptissa hajautettua tuotantoa käytetään juuri käyttövarmuuden parantamistarkoituksessa. Siinä useita pieniä tuotantoyksiköitä ohjataan keskitetysti ja tämä ”aliverkko” on liitetty jakeluverkkoon vain yhdestä pisteestä. Toimissaan täydellisesti se pystyy katkottomasti irtautumaan jakeluverkosta saarekkeeksi ja täten varmistamaan ”aliverkkoon” kuuluvien kuluttajien sähkönsaannin. (Kinttula 2008, 44.)

Suunnittelun kannalta helpoin tilanne on silloin, kun voimala ei syötä sähköä valtakunnan verkkoon, vaan koko voimalan tuotanto käytetään kulutuskohteessa hyödyksi. Tällainen tapaus voisi olla mahdollinen, jos kesämökin tuulimyllyn sähkö käytettäisiin kesämökissä oleviin vastuksiin, jotka osaltaan lämmittäisivät asumusta tai lämminvesivaraajaa. Mikäli voimala on samassa verkossa muiden sähköjärjestelmien kanssa, voi suojaus valvoa liittymispisteen läpi kulkevan tehon suuntaa takatehoreleellä. Jos sähkö kulkee verkkoon päin, on verkko jännitteetön ja tällöin tulee voimala erottaa verkosta. (Kinttula 2008, 45.)

### 5.6.1 Suojalaitteet

Jokaisessa voimalaitoksessa tulee olla erotinlaite, jolla voimala voidaan kytkeä irti verkosta ja lukita auki asentoon. Laitteen tulee katkaista myös ohjausjärjestelmät, apusähköt jne. Tällä varmistetaan se, että voimala ei pysty tuottamaan takatehoa verkkoon korjausten aikana. Laitteen tulee olla sähköyhtiön käytettävissä ilman mitään erillisiä toimia ja lisäksi laitteen tulee muodostaa näkyvä avausväli ja sen tulee olla käytettävissä aina ilman mitään erillisiä toimia. Samalla tulee sähköaseman voimalaitoslähtöön liittää kyltti, jossa varoitetaan takatehovaarasta. (Kinttula 2008, 45.)

Koska jännitteettömään jakeluverkkoon ei saa turvallisuussyistä syöttää jännitettä, tulee jännitteetön verkko havaita. Tyypillisesti tämä havaitaan jännite- tai taajuusreleellä mutta nykyään on käytössä myös ns. verkkokatkorele (Loss of Mains relay) eli yksinsyötönestorele (YSE). Laite toimii siten, että se tunnistaa taajuuden, jännitteen tai virran vaiheen muutoksen ja muutosnopeuden. Näistä rele pääättelee, onko valtakunnanverkko toiminnassa vai ei. Käytettäessä perinteisiä verkkokatkon havainnointimenetelmiä tulee jännitteen mittausta suorittaa jokaisesta vaiheesta. Tällöin välttyään epäsymmetrisestä syöttötilanteesta. Taajuuden mittauksessa riittää puolestaan yksivaiheinen mittausta, sillä taajuuspoikkeama näkyy kaikkialla. Taulukossa 1 on esitetty suuntaa-antavia asetteluarvoja ja toiminta-aikoja. (SENER 2001; Kinttula 2008, 46.)

**TAULUKKO 1. Releiden asetteluarvoja ja toiminta-aikoja (SENER 2001)**

RELE	ASETTELUARVO	TOIMINTA-AIKA
Ylijännite	230 V + 10 % 230 V + 6 %	50ms 30 – 60 s
Alijännite	230 V – 10 %	2 – 10 s
Ylitaajuus	51 Hz	200 ms
Alitaajuus	47 Hz	200 ms

SENER kertoo taulukon 1 arvoista, että ”Melko varmasti voidaan sanoa, että sähkön-  
tuotantolaitteisto, joka on varustettu em. suojauksella, eroaa verkosta hyvin lyhyen  
viallisessa saarekkeessa olon jälkeen. Sitä ei kuitenkaan voida estää, ettei se hyvin  
harvoissa tilanteissa voisi säilyttää verkosta erotettua tervettä verkon osaa jännitteise-  
nä. Tätä varten on tietyissä tilanteissa käytettävä lisäsuojauksia, joka estää yksin syö-  
tön.” (SENER 2001.)

Tuotantoyksikkö suojataan myös vikavirtaa varten. Tapauksesta riippuen laitoksen  
tulee tai ei tule syöttää verkkoon vikavirtaa. Haja-asutusalueella, jossa vikavirrat saat-  
tavat olla hyvinkin pieniä voi olla suotavaa, että hajautetun tuotannon yksiköt syöttä-  
vät vikavirtaa suojareleistyksen toiminnan varmistamiseksi. Mikäli laitteiden kestoi-  
suudet ylittyvät, ei vikavirtaa tule sallia syötettäväksi verkkoon. SENER suosittaa, että  
verkkoon ei missään tilanteessa syötettäisi vikavirtaa. (SENER 2001.)

Pienjänniteverkkoon liitettäessä toteutetaan oikosulkusuojaus sulakkeilla tai pienjänni-  
teverkkoon suunnitelluilla kompaktikatkaisijoilla. Näiden mitoittamisessa on erityisen  
tärkeää huomioida, että kosketusjännitesuojavaatimukset täyttyvät. Sulakkeiden mi-  
toittamisessa tämän tulee olla yksi reunaehdoista. Hyvä nyrkkisääntö on valita pykälää  
suuremmat sulakkeet, mitä voimalan nimellisteho on. Tällöin voimalan kytkentä  
verkkoon ei aiheuta sulakkeiden palamista. Ylivirtasuojauksia toteutetaan moottorin-  
suoja- eli lämpöreleellä. Sen koko valitaan laitteiston nimellisvirran perusteella.  
(SENER 2001.)

## 6 VARAVOIMALAITTEISTOJEN ARVIOINTIA

Tarkastelen alla laitteistojen teknisiä ominaisuuksia sekä arvioin mahdollisuuksia kulluttajalle rakentaa/rakennuttaa itselleen varavoimalaitos.

Arvioin saatavilla olevien laitteistojen hintaa, saatavuutta normaalille kotitalouskuttajalle tai talonrakentajalle, asennuksen vaatavuutta, laitteiston käytettävyyttä, käyttökustannuksia ja mahdollisia huoltojen aiheuttamia kuluja yleisesti saatavilla olevien tietojen perusteella.

Polttoainegeneraattoreita on saatavilla useita malleja useilta eri valmistajilta aina MVA-luokkaan asti. Pääsääntöisesti ne ovat luokiteltavissa siirrettäviksi yksiköiksi vielä 10 – 20 kVA –näennäistehorajoissa. Kiinteistöä voidaan ajatella syötettävän suoraan kolmivaihepistorasian kautta, kun kiinteistö on erotettu sähköjakeluverkosta. Eri malleilla polttoaineriippumattomuus eli tankkausväli on luokkaa muutamasta tunnista yli kymmeneen tuntiin, josta voidaan arvioida, että omakotitalon sähköistykseen polttoainegeneraattorin avulla menisi noin 2 – 3 €/kWh. Huoltoväli laitteistoissa on muutamaman sadan käyttötunnin luokkaa ja hintaluokka asettuu noin 120 – 250 €/per tuotettu kW.

Polttokennon saatavuus on vaikea kysymys. Lähteen (Kiviaho 2007) mukaan halvimmillaan polttokenno olisi n. 1000 €/tuotettu kW. Pieniä yksiköitä on saatavissa, mutta suoraan 10 – 20 kVA sähköteholuokkaan sijoittuvista ei ole tietoa. Polttokennolaitteisto tarvitsee erilliset tilat ja niiden säätöön tarkoitetut laitteet. Polttokennosto ei luonnollisesti ole kuin osa polttokennovoimalalaitteiston järjestelmää. Lisäksi kennoston huoltoväli on toimivissa varavoimayksiköissä suhteellisen pitkä, viitisen vuotta, joka on yksinkertainen, mutta syvällisempi huolto vaatii asiantuntemusta.

Tuulivoimaloista on saatavilla useilta eri valmistajilta eri teholuokkaisia ratkaisuja, asennuspalvelujakin on saatavilla. Tuulivoimalan pystytys vaatii rakennuslautakunnan hyväksynnän, mastot ovat yleensä 20 m korkeita. Markkinoijien mukaan tuulivoimalaratkaisut ovat huoltovapaita, mutta epäilemättä pitemmällä aikavälillä laitteiston mekaanisiin osiin tulee kulumaa ja räsitusta. Tuulivoimaloiden hintahaarukka on mallin tehosta riippuen 2000 €- 3500 €/ tuotettu kW.



Aurinkokennot ovat, kuten edellä mainittu, suhteellisen huoltovapaita. Vahinkojen seurauksena kennojen korvaus voi kalliiksi, mutta muuten aurinkokennolaitteistot ovat pitkäikäisiä. Kennostojen hinta suhteessa tuotettuun tehoon on noin luokkaa 1500 €-2500 € Kennostojen asennus kuitenkin vaatii sähköalan ammattihenkilön.

Vesivoima ja biokaasulaitos ovat puolestaan suuremman kokoluokan ratkaisuja, joihin kaikilla ei ole mahdollisuutta. Biokaasulaitokset ovat kooltaan isoja vaativat paljon raakaliettä. Lisäksi niiden perustamiskustannukset ovat hyvin kalliit. Vesivoiman hyödyntäminen ei suoraan vaikuta normaalin kotitalouskuluttajaan, koska harvalla on mahdollisuus hyödyntää jokea tai puroa siinä määrin, että vesivoiman perustamista voisi harkita. Hajautetun tuotannon sähkön tuottajalle vesivoima tarjoaa vaihtoehdon, mutta perustamiskustannukset olisivat Matti Kinttulan mukaan huomattavat. Sähköyhtiön kannalta pienten jokien tai vanhojen, käytöstä poistettujen vesivoimalaitosten ja koskien kunnostuksesta saatava hyöty olisi hieman kyseenalainen. Näin ollen laitosten kunnostuksen vastuu jäisi maa- ja vesialueen omistajalle tai vesiosuuskunnille.

Vastaavasti tuulivoimalaratkaisuja sekä aurinkokennostoja ja akustoja on markkinoilla monelta yritykseltä, osa yrityksistä myy tuotteitaan avaimet käteen –periaatteella eli asennuspalveluineen. Myös polttoainegeneraattorit ovat sikäli ”rautakauppa” –tavaraa eli niitä yleisesti saatavilla useita eri malleja. Lisäksi on olemassa varavoimakäyttöihin erikoistuneita yrityksiä, joiden valikoima on laaja, aina MVA -luokan generaattorikokoihin asti. Varavoimaratkaisuihin yleinen tendenssi tuntuu olevan perustamiskustannusten halpenemisen mitä järeämpi varavoimaratkaisu on kyseessä.

## **7 JOHTOPÄÄTÖKSET**

Energian kulutuskäyttäytymistä koskevissa tutkimuksissa, esimerkiksi Taloustutkimus 2011, on todettu, että oma energiatuotanto ohjaa asiakkaista käyttämään energiaa säänteliäämmmin. Omavaraisenergialla on todettu olevan merkitystä ohjaavana tekijänä energijärjestelmien muutoksessa. Sen vaikutuksesta passiivisista asiakkaista on tullut entistä valistuneempia ja aktiivisempia. Nykyisin on saatavissa ilman asiakkaille aiheuttavia lisäkuluja älykkäitä sähkömittareita, jotka mahdollistavat kulutuksen seuran-

nan ja tuotannon tuntikohtaisen mittaamisen ja rekisteröinnin. Oma energiatuotanto kannustaa kuluttajia hankkimaan esimerkiksi sähköautoja, kun liikkumiseen tarvittava energia voidaan tuottaa omasta takaa. Taloustutkimuksen tutkimuksessa ”Saisiko olla lähienergiapalveluja?” selvitettiin suomalaisten mökkiläisten ja asunnonomistajien kiinnostusta erilaisia energiaratkaisuja kohtaan, ja todettiin, että aurinkopaneelit ja aurinkolämpökeräimet olivat maalämmön jälkeen toiseksi suosituimpia. Kuluttajat pitivät energiaan liittyvää uudistusta ajankohtaisena tulevan kahden vuoden aikana. (Sitra 2012, 4.)

Aihe on siis hyvin ajankohtainen ja lainsäädäntöäkin nykyaikaistetaan parhaillaan. Kasvihuonepäästöjen vähentämiseksi ja uusiutuvan energian lisäämiseksi on tärkeää tuottaa tietoa eri vaihtoehdoista. Suomi on sitoutunut lisäämään uusiutuvan energian määrää 38 prosenttiin vuoteen 2020 mennessä. Vuonna 2010 tuo luku oli 27 prosenttia. (Sitra 2012, 5.)

Uusiutuvan energian käyttöä pyritään lisäämään ilmasto- ja energiastrategian mukaisesti. Suomen tavoitteena on lisätä kasvua 9,5 prosenttia vuoden 2005 tasosta vuoteen 2020. Merkittävät lisäykset olisivat kansallisen toimintasuunnitelman mukaan esimerkiksi tuulivoiman, metsähakkeen, lämpöpumppujen, biopolttoaineen lisääminen. (Ilmasto- ja energiastrategian kansallinen toimintasuunnitelma 2012.)

Joiltakin osin vaihtoehtoisesta energiamuodoista on vaikeaa edelleen saada tietoa. Esimerkiksi polttokennolaitteistosta on kuluttajan vaikea löytää tarkkaa tietoa. Laitteiston toimintaperiaatetta on kuvattu yleisesti saatavilla olevissa teoksissa, mutta laitteistojen teknisiä ominaisuuksia ei niinkään. Suomessa ei ole saatavilla kuin pieniä muutaman sadan watin yksikköjä Hydrocell-nimisen yrityksen valmistamana. Wärtsilä Oyj on kehittänyt polttokennotekniikkaa yhteistyökumppaneidensa kanssa jo vuodesta 2000, mutta laitteistot ovat suunnattu suuren kokoluokan voimalaitoskäyttöön. Maailmalla markkinoilla on useita järjestelmiä, esimerkiksi Japanissa polttokennotekniikan kaupallistaminen alkoi vuonna 2009, ja vuoden 2012 loppuun mennessä arvioidaan myydyn yli 20 000 polttokennolaitteistoa. (Fuel Cell Today 2012.)

Riittävästä turvallisuudesta huolehtiminen on myös olennaista suunniteltaessa pienvoimalan rakentamista ja sen liittämistä jakeluverkkoon. Suojauksen erottaminen on

tarpeellista työturvallisuuden varmistamiseksi. Pienvoimala ei saa heikentää muiden järjestelmien toimintaa. Myös kotitalouksien on syytä muistaa, että varoituskyltit, esimerkiksi ”Varo pienvoimalaa”, ovat paikallaan johtolähdöissä ja muuntamoissa.

Suomessa pienvoimalan ostaja joutuu kuitenkin käyttämään aikaa ja rahaa lainsäädännön setvimiseen ja mahdollisten lupaprosessien hoitamiseen. Lupien saaminen on monimutkaista, esimerkiksi aurinkopaneelien kohdalla tarvitaan selvitykset, kuvat ja asiakirjat ja mahdollisesti myös formaatti. Joissakin kunnissa paneelit saa asentaa katolle ilman minkäänlaista lupaa. Myös pientuulivoimalan osalta on epäselvää, milloin voimalaa pidetään rakennuksena ja edellytetään toimenpidelupaa. (Sitra 2012, 8.)

Vesivoimalaitosten rakentaminen ja muiden säännöstelyhankkeiden toteuttaminen edellyttää ympäristöviraston antamaa lupaa. Ympäristövaikutuksiltaan vähäiset hankkeille riittää yksi-vaiheinen lupakäytäntö, mutta laajemmat hankkeet edellyttävät katselmusvaiheita prosessin aikana. Vesilain (264/1961) mukainen lupaharkinta on oikeusharkintaa. Lupaharkintakriteeristön muodostaa intressivertailusäännöstö. Uusiin vesivoimahankkeisiin tarvitaan myös YVA-menettely, eli ympäristövaikutusten arviointimenettely, jota edellyttää vesilain lupaprosessi. (Kauppa- ja teollisuusministeriö 2005, 12-13.)

## 8 POHDINTA

Pohdin työssäni vaihtoehtoisia energiantuotantomuotoja, jota on monipuolisesti saatavillakin. Kun otetaan huomioon myös eri lämmitysratkaisut, laitteistojen kirjo on valtava. Osa on tehty kuluttajalle helpoksi kuten esimerkiksi aurinkopaneelit tai pientuulivoimalan pystyttäminen. Perustamiskustannuksetkin ovat jokseenkin hallittavissa, etenkin kun ne suunnitellaan ja mahdollistetaan uudisrakentamisen yhteyteen.

Miltei tehokkain tapa saada lisää uusia vaihtoehtoisten energiamuotojen käyttäjiä ja tuottajia, olisi pyrkiä tekemään siitä mahdollisimman sujuva ja helppo prosessi. Tulevaisuudessa tarvitaan myös selkeää viranomaisvalvontaa ja -ohjeistusta, lainsäädäntöäkin siihen, että lupaprosessit olisivat kaikille samat. Kuluttajalle helpoin tapa olisi,

että lupa- ja liittymäkäytännöt hoidettaisiin samalla yhden luukun periaatteita noudattamalla.

Henkilökohtainen kiinnostukseni tämän työn myötä syttyi tuulivoimalle, mikä olisikin mielenkiintoinen prosessi pystyttää oma tuulivoimala tai toisena vaihtoehtona olisi polttokennokäyttöinen voimalaitos, joka pystyisi tuottamaan koko kotitalouden käyttämän sähköenergian vaikka suoraan verkosta erotettuna. Polttokennolaitteiston ja sen integroiminen esimerkiksi uudisrakennuskohteeseen ja laitteiston käytön seuranta voisi olla hyvä jatkoprojekti.

## LÄHTEET

Anttonen, Kari 2010. Biokaasu pienen kokoluokan sähkön ja lämmöntuotannossa. Kandidaatintyö. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu.

Biokaasuyhdistys. Biokaasu. WWW-dokumentti.  
[http://www.biokaasuyhdistys.net/index.php?option=com\\_content&view=section&layout=blog&id=6&Itemid=53](http://www.biokaasuyhdistys.net/index.php?option=com_content&view=section&layout=blog&id=6&Itemid=53). viitattu 7.10.2012. Ei päivitystietoa.

Fuel Cell Today. WWW-sivusto. Residential Heat and Power.  
<http://www.fuelcelltoday.com/using-fuel-cells/residential-heat-and-power>. Päivitetty 28.5.2012. Luettu 19.11.2012

Hellgren Matti, Heikkinen Lauri, Suomalainen, Lauri & Kala, Janne 1999. Energia ja ympäristö. Hakapaino oy, Helsinki.

Hiltunen, Jani 2011. Diskreetti-aikainen liukuvan moodin säätö kiinteäoksidipoltto-kennon DC-tasonnostossa. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu.  
 Fuel Cell Benefits, The Online Fuel Cell Information Resource. WWW-dokumentti. <http://www.fuelcells.org/basics/benefits.html>. Ei päivitystietoa. Viitattu 7.10.2012.

Ilmasto- ja energiastrategian kansallinen toiminta-ohjelma 2012. Työ- ja elinkeinoministeriö. WWW-dokumentti <http://www.tem.fi/?s=3988>. Luettu 20.11.2012.

Karppinen, Jukka 2011. Varavoimaa kotitalouksille. Opinnäytetyö. Tampereen Ammattikorkeakoulu.

Kauppa- ja teollisuusministeriö 2005. Vesivoimatuotannon määrä ja lisääntymismahdollisuudet Suomessa-raportti. WWW-dokumentti.  
<http://www.motiva.fi/files/700/vesivoimatuotannon-maara-ja-lisaamismahdollisuudet-suomessa.pdf>. Luettu 11.11.2012.

Kinttula, Matti 2008. Pienvesivoiman elvytys, käyttöönotto ja kannattavuus. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu.

Kiviaho, Jari. Mitä polttokennot ovat? WWW-luentosarja.  
<http://www.jarviradio.fi/kuvat/pdf/polttokennot.pdf>. Luotu 13.9.2007.

Kotitalouksien sähkönkäyttötutkimus 2006 tutkimusraportti. WWW-dokumentti.  
[http://www.motiva.fi/files/1353/Kotitalouksien\\_sahkonkaytto\\_2006\\_-raportti.pdf](http://www.motiva.fi/files/1353/Kotitalouksien_sahkonkaytto_2006_-raportti.pdf). Päivitetty 2.10.2008. Luettu 1.8.2012.

Kontturi, Aki 2010. Uusiutuvan energian hyödyntäminen parihuvilan energiantuotannossa. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto.

Lakervi, Erkki & Partanen, Jarmo 2008. Sähkönjakelutekniikka. Gaudeamus, Helsinki.

Lehto, Ina 2009. Mikrotuotannon liittäminen sähköverkkoon. Diplomityö. Elektronii-  
kan, tietotekniikan ja automaation tiedekunta. Teknillinen korkeakoulu. WWW-  
dokumentti. <http://lib.tkk.fi/Dipl/2009/urn100081.pdf>. Luettu 10.11.2012.

Leppänen, Ari 2008. Kattilalaitoksen varavoimajärjestelmä. Tampereen teknillinen  
yliopisto. Projektiraportti. WWW-dokumentti.  
[http://butler.cc.tut.fi/~repo/Opetus/Projektityot/Ari\\_Leppanen\\_Kattilalaitoksen\\_varav\\_oimajarjestelma.pdf](http://butler.cc.tut.fi/~repo/Opetus/Projektityot/Ari_Leppanen_Kattilalaitoksen_varav_oimajarjestelma.pdf). Luettu 10.11.2012.

Motiva 2012a. Kotitalouden sähkönkulutus. WWW-dokumentti.  
[http://www.motiva.fi/koti\\_ja\\_asuminen/mihin\\_energiaa\\_kuluu/sahkonkulutus](http://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/mihin_energiaa_kuluu/sahkonkulutus). Sivua  
päivitetty viimeksi 28.11.2011. Luettu 14.2.2012.

Motiva 2012b. Lämmityskattilat ja tulisijat. WWW-dokumentti.  
[http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/bioenergia/puun\\_pienkaytto/lam\\_mityskattilat\\_ja\\_tulisijat](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/puun_pienkaytto/lam_mityskattilat_ja_tulisijat). Luettu 14.10.2012. Päivitetty 21.3.2012.

Nurmela, Juha 1996. Kotitaloudet ja energia vuonna 2015. Tutkimus kotitalouksien  
rakennemuutoksen vaikutuksesta energiankulutukseen. Tilastokeskus. Edita, Helsinki  
1996.

OFCIR. Fuel Cell Benefits, The Online Fuel Cell Information Resource.  
WWW-dokumentti. <http://www.fuelcells.org/basics/benefits.html>. Luettu 20.10.2012.  
Ei päivitystietoa.

Puolustusministeriö. Pahasti poikki – näin selviät pitkästä sähkökatkosta. WWW-  
dokumentti. <http://www.defmin.fi/index.phtml?s=431>. Luettu 20.20.2012. Ei päivitys-  
tietoa.

Tilastokeskus 2012. Asumisen energiakulutusraportti 2011. WWW-  
dokumentti [http://www.motiva.fi/files/6458/Asumisen\\_energiankulutus\\_2011.pdf](http://www.motiva.fi/files/6458/Asumisen_energiankulutus_2011.pdf).  
Luettu 20.11.2012.

Tuulivoimala.com Finland Oy. WWW-sivu. <http://www.tuulivoimala.com/>. Sivua  
päivitetty 31.3.2012, luettu 1.4.2012.

Tuulivoimala.com Finland Oy. WWW-sivu. Verkkosähkön tuotanto kiinteistöihin.  
[http://www.tuulivoimala.com/Tuulivoimalat\\_-\\_Sahkoverkkokytenta.asp](http://www.tuulivoimala.com/Tuulivoimalat_-_Sahkoverkkokytenta.asp). Luettu  
1.4.2012. Ei päivitystietoa.

Tuulivoimala.com Finland Oy. Linkitetty WWW-sivu. Tuuliatlaksen yhteenvetora-  
portti. PDF-dokumentti.  
[http://www.tuuliatlas.fi/linked/fi/Tuuliatlas\\_yhteenvetoraportti.pdf](http://www.tuuliatlas.fi/linked/fi/Tuuliatlas_yhteenvetoraportti.pdf). Valmistunut 2009.  
Luettu 1.4.2012.

Siltanen, Lauri. Pienvoimaloiden liittäminen jakeluverkkoon. 2001. Sähköenergialiitto  
SENER ry. Versio 4. Helsinki 2001.

Sitra 2012. Aurinkosähkön ja muun uusiutuvan sähkön pientuotannon edistäminen  
Suomessa. Keskustelupaperi 31.8.2012.

Suomen hallitus. Pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategia. Valtioneuvoston eduskunnalle 6.11.2008. WWW-dokumentti.

[http://www.tem.fi/files/20585/Selontekoehdotus\\_311008.pdf](http://www.tem.fi/files/20585/Selontekoehdotus_311008.pdf). Luettu 14.10.2102. Ei päivitystietoa.

Suomen pelastusalan keskusliitto 2012. WWW-dokumentti.

<http://www.spek.fi/Suomeksi/Varautuminen-ja-vss/Omatoiminen-varautuminen>. Luettu 14.10.2012. Ei päivitystietoa.

Suomen tuulivoimayhdistys 2012. WWW-dokumentti.

<http://www.tuulivoimayhdistys.fi/tuulivoima>. Luettu 10.11.2012. Ei päivitystietoa.

Veijalainen, Elmer 2008. Pientuulivoimalat. Opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu.